



**INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO**

Lúcia Lopes

Modelação do Risco e Dinâmica do Fogo para Apoio ao  
Planeamento e Gestão do Espaço Florestal  
Caso de Estudo – Bacia Hidrográfica do Rio Estorãos

Nome do Curso de Mestrado  
Mestrado em Gestão Ambiental e Ordenamento do Território

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Joaquim Alonso  
co orientação do  
Professor Cláudio Paredes

Dezembro de 2013

## ÍNDICE

<b>RESUMO .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>6</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 - Importância do estudo .....	8
1.2 - Objetivos .....	10
1.3 - Estrutura .....	11
<b>2 – MODELAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL .....</b>	<b>12</b>
2.1 – Risco de Incêndios Florestais e Gestão Florestal .....	12
2.1.1 – Risco de Incêndio Florestal .....	12
2.1.2 – Uma abordagem à gestão florestal como forma de evitar os incêndios florestais .....	20
2.2 – Modelação do risco de incêndio florestal .....	28
2.3 – Desenvolvimento e aplicação do modelo farsite .....	39
<b>3 – RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DE ESTORÃOS .....</b>	<b>46</b>
3.1 – Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Estorãos .....	46
3.1.1 – Enquadramento geográfico .....	46
3.1.2 – Caracterização biofísica .....	47
3.1.2.1 – Caracterização climática .....	47
3.1.2.2 – Caracterização hidrológica .....	51
3.1.2.3 – Caracterização geomorfológica e fisiográfica .....	52
3.1.3. Análise das cartas de ocupação e uso do solo: 1958, 1990, 2000, 2002 e 2004 .....	56
3.2 – Metodologia .....	58
3.2.1 – Dados e recursos .....	58
3.2.2 – Fases metodológicas .....	61
3.2.3 – Condições de Simulação do comportamento do fogo .....	77
<b>4 - Apresentação e Análise de resultados .....</b>	<b>78</b>
4.1 - Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos considerando diferentes ocupações e uso do solo .....	78
4.2- Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos – Cenário 1 .....	81
4.3 - Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos – Cenário 2 .....	299



<b>4.4 - Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos – Cenário 3</b>	
111	
<b>4.5 - Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos – Cenário 4</b>	
115	
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>121</b>
<b>5. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>127</b>

## RESUMO

Os incêndios florestais são um dos maiores problemas da atualidade. Por alguns são considerados um risco complexo por outros são relacionados com os riscos climáticos mas a realidade é que as consequências de um incêndio florestal são múltiplas, que vão desde os impactos sociais, económicos aos ambientais.

Em ambientes climáticos de características mediterrâneas, com uma estação seca e uma húmida favorável para o desenvolvimento de vegetação, a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais aumenta. Neste sentido, é relevante conhecer a evolução e o comportamento do fogo bem como todas as condições envolventes da existência de um fogo de modo a prevenir a sua ocorrência, minimizar os efeitos e aumentar a capacidade de resiliência a uma situação de incêndio florestal.

Os estudos sobre os impactos de um incêndio florestal são inúmeros. Contudo, é cada vez mais importante conseguir agir na retaguarda, evitando a sua deflagração ou na sua existência minimizar as suas consequências, através da tomada das decisões mais acertadas. Por vezes, estas passam, não só, por uma reorganização dos espaços florestais atendendo aos instrumentos de gestão do território, mas também por assegurar que as decisões de momento são as mais adequadas.

Os softwares capazes de realizar simulações do comportamento do fogo têm vindo a ser cada vez mais aperfeiçoados de forma a garantir que cada vez mais se assemelham à realidade e podem ser extremamente úteis quer na prevenção quer na forma de combate aos fogos. A capacidade de simular diferentes cenários ajustados a diferentes ambientes climáticos e a ambientes vegetativos com diferenças de combustibilidade podem também ser úteis nas decisões a tomar tanto nas formas de prevenção como na definição de estratégias de combate.

Uma abordagem às condições climáticas e de vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Estorãos com recurso a um software de simulação do comportamento do fogo – Farsite – constituíram a área de estudo para apurar diferentes cenários de ocorrência de um fogo e encontrar potenciais soluções a implementar para evitar a ocorrência de um incêndio ou minimizar os seus efeitos aquando da sua existência.

Palavras chave: Risco; Incêndios florestais; Comportamento do fogo; Farsite; Gestão florestal; Bacia Hidrográfica do Rio Estorãos

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

AFN - Autoridade Florestal Nacional

DFCI – Defesa Floresta Contra Incêndios

DGRF –Direção Geral dos Recursos Florestais

EFFIS - European Forest Fires Information System

ENDS - Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável

FAO – Food and Agriculture Organization

FGC - Faixa de gestão de combustível

FWI - Fire Weather Index

Ha – Hectare

Kg/m<sup>2</sup> – Quilograma metro quadrado

LCP - Landscape

MDT – Modelo digital de terreno

NFFL - Northern Forest Fire Laboratory

PEIF - plano específico de intervenção florestal

PGF - Plano de gestão florestal

PIB – Produto Interno Bruto

PIENDS - Plano de Implementação Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável

PNDFCI - Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios

PPLBSPA – Paisagem Protegida das Lagoas de Bertandos e S. Pedro de Arcos

PROF - Planos regionais de ordenamento florestal

RDF - Redes regionais de defesa da floresta

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

Ton/ha – Tonelada por hectare

ZIF - Zonas de Intervenção Florestal

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação de algumas das variáveis necessárias para aplicação do modelo Farsite (adaptado de Finney, 1998).....	41
Tabela 2 – Dados Termoclimáticos na Bacia do Rio Estorãos .....	47
Tabela 3 - Dados pluviométricos relativos a três postos udométricos próximos da Bacia do Rio Estorãos .....	49
Tabela 4 - Evolução de área (ha) e tipo de ocupação e uso do solo 1958, 1990, 2000, 2002 e 2004.....	57
Tabela 5 - Informação base disponibilizada.....	60
Tabela 6 - Reclassificação da ocupação e uso do solo em modelos de combustível .....	63
Tabela 7 - Reclassificação em termos de Canopy-cover.....	69
Tabela 8 - Arquivos ASCII necessários para a construção do arquivo de Projeto (.FPJ) .....	70
Tabela 9 - Informação produzida pelo Farsite.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de inputs a introduzir no modelo ambiental.....	31
Figura 2 - Identificação das variáveis de entrada e saída do modelo de progressão Farsite .....	40
Figura 3 - Enquadramento geográfico da bacia hidrográfica do Rio Estorãos.....	46
Figura 4 - Precipitação na Bacia de Estorãos .....	48
Figura 5 - Humidade na Bacia de Estorãos .....	50
Figura 6 - Rede Hidrográfica Rio Estorãos .....	51
Figura 7 - Modelo Digital de Elevação da Bacia de Estorãos .....	53
Figura 8 - Mapa de Declives da Bacia de Estorãos .....	54
Figura 9 - Mapa de Exposições da Bacia de Estorãos.....	55
Figura 10 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 1958 .....	64
Figura 11 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 1990 .....	65
Figura 12 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 2000 .....	66
Figura 13 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 2002 .....	67
Figura 14 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 2004 .....	68
Figura 15 - Estrutura de um arquivo do clima (.WTR) .....	71
Figura 16 - Estrutura de um arquivo de vento (.WND) .....	73
Figura 17 - Estrutura de um arquivo Fator de Ajuste (.ADJ), com dados fictícios .....	74
Figura 18 - Projetos do Farsite4 para os anos em estudo .....	80
Figura 19 - Simulação do comportamento do fogo (1958) .....	81
Figura 20 - Área ardida 1958 .....	82
Figura 21 - Simulação do comportamento do fogo (1990) .....	85
Figura 22 - Área ardida 1990 .....	86
Figura 23 - Simulação do comportamento do fogo (2000) .....	88
Figura 24 - Área ardida 2000 .....	89
Figura 25 - Simulação do comportamento do fogo (2002) .....	91
Figura 26 - Área ardida 2002 .....	92
Figura 27 - Simulação do comportamento do fogo (2004) .....	94
Figura 28 - Área ardida 2004 .....	95

Figura 29 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 1958, para um período de 10 dias.....	100
Figura 30 - Área ardida 1958 .....	101
Figura 31 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 1990, para um período de 10 dias.....	103
Figura 32 - Área ardida 1990 .....	104
Figura 33 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 2004, para um período de 10 dias.....	106
Figura 34 - Área ardida 2004 .....	107
Figura 35 - Simulações para ano 1958, considerando diferentes pontos de ignição .....	112
Figura 36 - Simulações para ano 2004, considerando diferentes pontos de ignição .....	114
Figura 37 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 2004 – colocação de barreiras artificiais .....	115
Figura 38 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 2004 – considerando as linhas de água e estradas .....	117
Figura 39 - Área ardida usando a carta de ocupação e uso do solo de 2004 – considerando as linhas de água e estradas.....	119

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução de área (ha) e tipo de ocupação e uso do solo 1958, 1990, 2000, 2002 e 2004.....	58
Gráfico 2 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 1958.....	82
Gráfico 3 - Área ardida 1958.....	84
Gráfico 4 - Perímetro ardido 1958 .....	84
Gráfico 5 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 1990.....	85
Gráfico 6 - Área ardida 1990.....	87
Gráfico 7 - Perímetro ardido 1990 .....	87
Gráfico 8 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2000.....	88
Gráfico 9 - Área ardida 2000.....	90
Gráfico 10 - Perímetro ardido 2000 .....	90
Gráfico 11 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2002.....	92
Gráfico 12 - Área ardida 2002.....	93
Gráfico 13 - Perímetro ardido 2002 .....	94
Gráfico 14 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2004.....	95
Gráfico 15 - Área ardida 2004.....	96
Gráfico 16 - Perímetro ardido 2004 .....	97
Gráfico 17 – Ocupação do solo da área ardida.....	97
Gráfico 18 – Total da área ardida (ha) .....	98
Gráfico 19 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 1958.....	100
Gráfico 20 - Área ardida 1958.....	102
Gráfico 21 - Perímetro ardido 1958 .....	102
Gráfico 22 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 1990.....	104
Gráfico 23 - Área ardida 1990.....	105
Gráfico 24 - Perímetro ardido 1990 .....	106

Gráfico 25 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2004 .....	107
Gráfico 26 - Área ardida 2004.....	108
Gráfico 27 - Perímetro ardido 2004 .....	109
Gráfico 28 - Total da área ardida (ha) .....	110
Gráfico 29 – Área ardida com barreira artificial 1 .....	116
Gráfico 30 - Área ardida com barreira artificial 2.....	117
Gráfico 31 – Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2004.....	118
Gráfico 32 - Área ardida 2004.....	119
Gráfico 33 - Perímetro ardido 2004 .....	120



## 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 - Importância do estudo

Os incêndios florestais acontecem um pouco por todo o mundo e causam bastantes danos materiais, ambientais e humanos. Normalmente, são mais frequentes em regiões com determinadas condições climáticas e tipo de vegetação, mas estão principalmente associados à ação do homem.

A ocorrência do incêndio florestal com maior frequência associa-se a alguns fatores particulares. Destacam-se o aumento da população que provoca uma maior pressão sobre as áreas florestais (através da ocupação de terras para cultivo, pastoreio ou atividades de lazer), e as alterações climáticas que têm provocado modificação nas condições de temperatura, humidade e precipitação que possibilitam o perigo de incêndio. Isto significa que para haver um incêndio florestal são necessárias condições propícias, nomeadamente existência de vegetação combustível, condições meteorológicas adequadas e uma fonte de ignição (Vélez, et al., 2000). Assim, salienta-se que as ignições são genericamente de origem humana, mas a incidência de incêndios florestais está fortemente relacionada com determinados fatores naturais.

Os incêndios florestais, como referido, têm elevados impactos ambientais, sociais e económicos. Destacam-se o aumento das emissões de gases; o aumento do fenómeno de erosão e consequentemente de deslizamentos de terras devido à destruição da camada superficial vegetativa; a maior suscetibilidade das áreas, onde se verificaram incêndios, a cheias; a elevada quantidade de nutrientes contida nas cinzas que são transportadas e que podem alterar as propriedades da água; a destruição da fauna e da flora. Também destroem a floresta enquanto ecossistema e o risco de incêndio faz diminuir o seu valor. Acrescenta-se que os incêndios constituem igualmente uma ameaça à segurança das pessoas e bens, sendo responsáveis pela morte de bombeiros, de civis e pela destruição de habitações e outro património. Destaca-se que os resultados negativos dos incêndios florestais serão mais ou menos prejudiciais para o ambiente em função de um conjunto de fatores, tais como: duração, intensidade, extensão e frequência dos incêndios e da vulnerabilidade do ecossistema.

De acordo com vários estudos, Portugal é o país do sul da Europa mais afetado pela ocorrência de incêndios florestais, (Pereira, Carreiras, Silva, & Vasconcelos, 2006), registando um número elevado de ocorrências e de área ardida.

Os incêndios florestais têm grande impacto no sector florestal em Portugal, sendo indispensável a redução da extensão dos incêndios florestais. É necessário reunir esforços para se conseguir gerir áreas florestais de forma a prevenir e reduzir a ocorrência de incêndios e aumentar a eficácia do combate aos incêndios. Esta tendência para o aumento da área ardida e do número de ocorrência de incêndios, verifica-se apesar de cada vez se investir mais em meios materiais e humanos no combate aos incêndios, bem como na vigilância e na prevenção, incluindo a realização de planos de ordenamento, campanhas públicas de sensibilização e a implementação de legislação mais restritiva no que se refere às atividades suscetíveis de causar incêndios (Pereira et al., 2010). Neste sentido é unanimemente reconhecido pelos especialistas a necessidade de implementar formas eficazes de prevenção contra os incêndios florestais, formas essas que se consubstanciam em métodos de redução da massa combustível e gestão adequada na prevenção ou combate ao fogo.

O documento normativo (Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS, 2005-2015) e respetivo Plano de Implementação (PIENDS), aprovados pela Resolução do Conselho de Ministros nº 109/2007, de 20 de Agosto) define como uma das prioridades estratégicas “a gestão dos riscos naturais e tecnológicos, mobilizando a participação da população interessada” e como vetores estratégicos referem-se, claramente, a “melhoria da capacidade de monitorização e prevenção dos riscos sísmicos e gestão dos seus efeitos, a minimização das situações de risco nas áreas costeiras mais vulneráveis, a prevenção de impactes de outros riscos naturais e tecnológicos, designadamente cheias, secas e acidentes de poluição” a par com a necessidade de “educação ambiental e sensibilização da população e de mecanismos de acesso célere à informação e à justiça ambiental”.

Neste sentido, torna-se relevante um estudo que incide sobre um tipo de risco complexo, o risco de incêndio florestal, que como referido na ENDS deve ser um dos vetores estratégicos em termos de monitorização e prevenção dos seus impactos. Tem como finalidade compreender as condições que propiciam um fogo, identificar e definir algumas estratégias de intervenção no âmbito da prevenção ou combate de um incêndio florestal na eventualidade de uma ocorrência, recorrendo à simulação do comportamento potencial do fogo num determinado território.

## 1.2 - Objetivos

Os incêndios florestais, como referido, provocam muitos prejuízos. Estes danos dependem bastante do comportamento do fogo que é influenciado pelas condições climáticas, topográficas e de vegetação. O conhecimento sobre o comportamento do fogo nas diferentes situações ainda não é suficiente de forma a evitar/impedir a sua ocorrência. Tal situação deve-se principalmente à inexistência de modelos que possibilitem a simulação e interpretação de todas as variáveis que só existem no momento pós-fogo quando deveriam existir numa fase anterior. Assim, é relevante a preocupação com a criação de modelos que simulem o comportamento do fogo de acordo com determinada ocupação do solo e condições climáticas de forma a permitir uma ação prévia à ocorrência de um fogo. Obviamente que as condições de simulação ficarão sempre aquém da realidade, porque as condições climáticas locais, por vezes, são também influenciadas pela libertação de calor do fogo influenciando bastante a velocidade de propagação bem como a possibilidade de haver modificação na orientação do vento.

Deste modo, os principais objetivos deste trabalho são: criar diferentes cenários de ocupação do solo, simular o comportamento do fogo, com recurso ao software Farsite4, num determinado território, quantificar as áreas ardidas resultantes das diferentes simulações e verificar a influência dos diferentes modos de ocupação e uso do solo no comportamento do fogo. Pretende-se ainda salientar a importância de uma gestão florestal adequada no sentido de garantir a sustentabilidade florestal através da prevenção e minimização dos efeitos de um incêndio florestal. Acresce também destacar a importância de processos de modelação aplicados a fenómenos concretos associados à intervenção humana, mas condicionados pelas condições naturais e físicas de um determinado território. Neste caso em particular realizou-se a simulação do comportamento do fogo, considerando um modelo dinâmico, que demonstra a forma de crescimento e propagação do fogo, com recurso ao software Farsite4. A simulação do comportamento do fogo, neste software implica a criação, conversão ou transformação de um conjunto de variáveis que condicionam o seu comportamento, para melhor simular uma ocorrência atendendo a condicionantes de clima, topografia e modelos de combustível com base na ocupação e uso do solo. Sabe-se que, uma vez produzida a ignição em determinada área, o fogo propaga-se em inter-relação com alguns fatores: combustível (modelos de combustível), meteorologia e topografia.

A realização da simulação do comportamento do fogo para um determinado local da Bacia Hidrográfica do Rio Estorãos, considerou as variáveis locais obrigatórias para o seu funcionamento. Contudo, este trabalho incide particularmente sobre a perceção do comportamento do fogo face à criação de diversos cenários de diferentes ocupações e uso do solo e diferentes condições climáticas na área de estudo. Pretende-se compreender de que forma há ou não influência dos diferentes modos de ocupação e uso do solo no comportamento do fogo, atendendo a um conjunto de variáveis predefinidas. Não se pode esquecer neste âmbito, que apesar do modelo poder simular uma determinada realidade, não deixa de ser um modelo, considerando-se pertinente salvaguardar que as variáveis climáticas foram equacionadas de forma a poder simular o fogo, sem que os dados tenham sido exatamente reais de uma estação meteorológica. Além disso, a validação do modelo é um outro aspeto a considerar uma vez que só é possível após a ocorrência de um incêndio que se enquadre nas condições apresentadas nos diferentes cenários.

Assim, é suposto desenvolver um instrumento de modelação estrutural, dinâmico que permita a reunião, sistematização, análise e a comunicação dos dados relativos ao comportamento do fogo, sendo uma importante ferramenta para todas as entidades com competência na gestão do fogo.

### **1.3 - Estrutura**

O presente trabalho consiste na realização de um estudo sobre o comportamento do fogo perante diferentes cenários de ocupação do solo num determinado território considerando também os diferentes elementos meteorológicos, topográficos e de vegetação que interferem na evolução e propagação de um incêndio florestal, recorrendo ao modelo de progressão de fogo FARSITE. Este simula a progressão de um fogo em diferentes cenários calcula a área ardida, e permite também testar a sua extinção através de várias técnicas de combate. Tem por finalidade identificar algumas medidas capazes de prevenir a ocorrência de um fogo, identificar técnicas de combate mais eficazes bem como relacionar o comportamento de um fogo com a prática de uma gestão florestal adequada constituindo uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão tática e operacional.

Neste sentido, o documento encontra-se dividido em duas partes que se interrelacionam. Uma parte que apresenta uma abordagem teórica à problemática dos incêndios florestais identificando as causas, as consequências e formas de prevenção que podem relacionar-se com a adoção de procedimentos de gestão florestal adequados à prevenção de incêndios florestais bem como à própria sustentabilidade enquanto atividade determinante dos espaços florestais do país. Numa segunda parte realiza-se um estudo concreto de um determinado território – Bacia Hidrográfica do Rio Estorãos – considerando diferentes aspetos climáticos, topográficos e de vegetação que interferem na ocorrência e propagação de um incêndio florestal e diferentes cenários de ocupação e uso do solo bem como a aplicação de diferentes medidas estratégicas de combate ou prevenção do fogo. Pretende-se com esta componente prática identificar medidas de ação mais eficazes na prevenção de ocorrência de um incêndio florestal com uma intervenção mais ativa enquanto ferramenta de apoio à decisão e instrumento de trabalho eficaz aquando da necessidade interventiva. O conhecimento do comportamento de um determinado risco possibilita o planeamento e a adoção de medidas mais eficazes no combate ou prevenção do risco de incêndio florestal contribuindo dessa maneira para uma melhor gestão do território.

## **2 – MODELAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL**

### **2.1 – Risco de Incêndios Florestais e Gestão Florestal**

#### **2.1.1 – Risco de Incêndio Florestal**

O Risco é inerente à vida!

No senso comum existem muitas situações que colocam o ser humano em situação de risco. Diversos autores têm estudado este conceito e apresentado várias definições associadas também à teoria do risco de forma a melhor compreender o contexto em que o risco pode efetivamente existir. De acordo com Faugères (1990), pode definir-se o conceito de risco como sendo “um sistema complexo de processos, cuja modificação do funcionamento é suscetível de produzir danos diretos ou indiretos numa determinada população”.

Destaca que a teoria do risco contempla três conceitos: risco, perigo e crise, sendo que o limiar que os separa nem sempre é claro. Considera que existe, uma relação sequencial entre os conceitos, sendo que o perigo representa já uma situação de ameaça a uma determinada entidade, anteriormente previsível por uma análise de risco, sendo a situação de crise o resultado da incapacidade de combater, de solucionar com eficácia uma conjuntura de perigo.

Aplicando o conceito de risco à problemática dos incêndios, considera-se que o risco de incêndio florestal pressupõe a existência de condições favoráveis à ignição e à propagação, resultantes quer de fatores naturais quer de intervenção humana, passando a uma situação de perigo quando, após a ignição, a propagação do fogo se torna efetiva e pode ameaçar uma determinada área populacional, industrial, natural com reconhecido valor, podendo em situações mais complexas, gerar uma conjuntura de crise, se, entretanto, os meios de combate não forem suficientemente eficazes para colmatar a ameaça inicial (Bento-Gonçalves, 2006).

A FAO define o risco de incêndio como “probabilidade de começar o incêndio determinado pela presença e atividade de qualquer agente. Segundo Chuvieco et al. (2010), a probabilidade de ocorrência de incêndio é o potencial de ocorrer ignição ou de se propagar, considerando duas fontes de ignição: natural ou humana. O perigo de incêndio, por outro lado, é definido considerando “fatores variáveis ou fixos que determinam a facilidade de ignição, taxa de propagação, dificuldade de controlo e impacto do fogo; muitas vezes expresso como um índice”. Outros autores afirmam que risco de incêndio é a união entre ignição e perigo de incêndio (Chuvieco e Congalton, 1989).

Numa abordagem integrada, assente na Teoria do Risco, a análise do risco de incêndio florestal visa converter os dados conhecidos em informação de suporte à decisão, devendo, por isso, os riscos ser definidos com precisão, estimados ou quantificados, de modo a que a análise de risco, que parte da identificação do risco, possa permitir efetivar uma correta avaliação do risco, a qual conduzirá à necessária gestão do risco, com vista a evitar a sua manifestação ou, no caso de tal não ser possível, de modo a minimizar os seus efeitos (society for risk analysis, 2002).

O risco de incêndio é a condição potencial de ocorrência e propagação de um incêndio florestal, definido pelas características do material combustível, entre outros fatores, que

somados formam uma situação favorável de ignição e dificuldades de extinção do fogo (Souza et al., 2000).

Um incêndio florestal ocorre quando um ambiente é ou está momentaneamente vulnerável e é exposto a um fator de ameaça, ou seja, na junção de combustíveis inflamáveis expostos a uma fonte de calor. Desta forma, os dois fatores que regem a ocorrência de incêndio são a vulnerabilidade do ambiente e o fator de ameaça (Castanêda, 1997). O conceito de vulnerabilidade refere-se assim aos combustíveis e às condições ambientais que os tornam suscetíveis de ignição, enquanto que, o conceito de risco se refere à ocorrência das causas que a provocam. A coexistência da vulnerabilidade e do risco origina o perigo de eclosão dos incêndios.

Para que haja um fogo é necessária a existência de combustível, o qual no caso dos incêndios florestais, é constituído pelo vasto conjunto de espécies vegetais que se encontram na floresta. De forma geral os combustíveis são consumidos rapidamente, pelo que a continuação da combustão é acompanhada da propagação a novos combustíveis adjacentes. Assim, os incêndios florestais tendem a progredir ao longo de uma linha à qual se chama frente de chamas, cujo perímetro delimita a área ardida. Distingue-se os fogos entre fogos controlados, que são aqueles que estão sob o controlo do Homem e fogos selvagens, os incêndios em que o Homem não tem controlo sob os mesmos. Podemos distinguir um fogo pelo meio onde este ocorre. Os fogos florestais ocorrem em áreas de abundante vegetação, e os restantes, chamados incêndios urbanos que normalmente ocorrem em estruturas construídas pelo Homem (Miranda, 1998). Mais recentemente surgiram os peri urbanos, ou seja, fogos de interface urbano-florestal, que apresentam características próprias, afetando quase diretamente as populações urbanas.

Nas últimas décadas, em Portugal, tem sido evidente o aumento da ocorrência de incêndios florestais de grandes dimensões (Carvalho et al., 2010). As estatísticas europeias baseadas no sistema EFFIS (European Forest Fires Information System) sobre fogos florestais apontam os cinco estados do Sul da Europa (Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia) como sendo os mais afetados pelos incêndios florestais, merecendo uma análise diferenciada nos relatórios anuais sobre fogos florestais na Europa.

Há mesmo referências de que Portugal é o país do sul da Europa mais afetado pela ocorrência de incêndios florestais, (Pereira, Carreiras, Silva, e Vasconcelos, 2006), contabilizando um

elevado número de ocorrências e grandes áreas ardidas face à sua área territorial. Os incêndios de grande dimensão sendo mais frequentes, aumentam também os impactos ambientais e socioeconómicos.

Em Portugal, os dados dos incêndios florestais disponibilizados pela Autoridade Florestal Nacional apontam para o aumento do número de ocorrências e de área ardida ao longo do tempo (AFN, 2008; AFN, 2009). Entre 1999 e 2008 a média anual de área ardida foi de 148 mil ha, sendo que esta média anual aumentou dos anos 80 para os 90 e até 2005. Os dados recentemente publicados apontam para 145 mil ha de área ardida no verão de 2013, que ficou marcado pela quantidade de área ardida mas principalmente por número de vítimas que provocou no combate às chamas.

As causas dos incêndios florestais são das mais variadas. Têm, na sua grande maioria, origem humana, quer por negligência e acidente (queimadas, queima de lixos, lançamento de foguetes, cigarros mal apagados, linhas elétricas, etc.), quer intencionalmente (fogo posto). Os incêndios de causas naturais (ex: relâmpagos e concentração de raios solares em pedaços de quartzo ou cacos de vidros em forma de lente) correspondem a uma pequena percentagem do número total de ocorrências. A forma de ocupação e uso do solo condiciona bastante o aumento do número de incêndios florestais. As áreas com produtividade agrícola marginal foram arborizadas criando grandes manchas contínuas de resinosas, ou abandonadas ao processo ecológico de sucessão secundária, convertendo-se em florestas e matagais (Pyne, 1995; Alexandrian, 1999; Moreno, 1999; Pausas & Vallejo, 1999; Pereira & Santos, 2003; Nunes et al., 2005; Ribeiro 2008). Estas alterações de uso e coberto do solo provocaram um aumento da conectividade de manchas de vegetação com elevadas cargas de combustível, gerando paisagens mais vulneráveis à propagação ininterrupta de grandes incêndios (Lepart & Debussche, 1992; Pereira & Santos 2003). Para além disso despovoamento rural e o crescente abandono das atividades tradicionais (através de diminuição de efetivos de gado e da redução do consumo de combustíveis vegetais, quer por pastoreio, quer por recolha para produção doméstica de energia ou para fertilização de campos agrícolas) e a recorrência de fenómenos meteorológicos anormais decorrentes das alterações climáticas vão fomentar o surgimento de mega incêndios florestais.

A distribuição temporal dos incêndios florestais em Portugal Continental é marcadamente sazonal, verificando-se o maior número de ocorrências e de área ardida nos meses de Julho, Agosto e Setembro. Este tipo de ocorrências têm maioritariamente origem humana, mas são



fortemente influenciadas pelas condições meteorológicas existentes, bem como pela topografia e tipo de ocupação e uso do solo. A área ardida nos meses de Inverno não é muito significativa, comparativamente ao resto do ano.

As condições climáticas de um determinado local influenciam de forma acrescida a ocorrência e propagação de um incêndio florestal. Dentre os elementos climáticos, considera-se a temperatura, a humidade, o vento e a precipitação como fulcrais na ocorrência de um fogo. Segundo alguns autores, os principais fatores meteorológicos que influenciam a propagação de um fogo na sua fase inicial são fundamentalmente a humidade relativa do ar, a velocidade do vento e a estabilidade atmosférica (Macedo & Sardinha, 1993). No seu conjunto afetam, quer a inflamabilidade, quer a combustibilidade do leito combustível (Viegas, 2006).

Neste sentido, Portugal de clima temperado mediterrâneo (com diferentes influências), com duas estações bem demarcadas, uma húmida e uma seca, na qual predominam temperaturas elevadas, ausência de precipitação, baixa humidade do ar e provável existência de vento, apresenta condições propícias à ocorrência de incêndios florestais. De salientar, que segundo Viegas (1989), o vento, por si só, é o fator que mais afeta a propagação dos incêndios, sendo praticamente todos os grandes incêndios e situações perigosas acompanhados de vento intenso. Reforça-se que em termos dos sistemas de previsão de risco de incêndio, a constante variação na velocidade e direção do vento condicionam a previsibilidade da ignição e da propagação dos incêndios florestais.

Nas condições climáticas do nosso país onde verões quentes e secos sucedem a períodos de abundante humidade e temperatura favorável para o crescimento da biomassa, o risco de incêndios assume os mais elevados índices, traduzindo-se em níveis muito elevados de ignições que por vezes assumem dimensões catastróficas. O facto da estação quente coincidir com o período mais seco do ano torna propícia a ocorrência do incêndio dado o estado de secura da vegetação (Catry et al., 2007). Para agravar a situação, o cenário das alterações climáticas indica esta região como uma das mais vulneráveis prevendo ainda um aumento substancial do risco meteorológico de incêndio (Santos e Miranda, 2006).

A circulação atmosférica associada aos grandes incêndios em Portugal está relacionada com uma diminuição da pressão atmosférica sobre a Península Ibérica devida ao forte aquecimento da massa de ar continental (Ramos & Ventura, 1992). No Verão, o fenómeno

é reforçado pelo anticiclone dos Açores que se estende até ao centro da Europa e que se combina com elevadas pressões da secção mediterrânica e com advecções anómalas de ar quente e seco do Norte de África até ao centro da península (Pereira et al., 2005, Hoinka et al., 2009). Lourenço (1988) confirma que estas condições favorecem um aumento gradual da temperatura e progressiva diminuição da humidade relativa do ar que provocam a perda de humidade na vegetação. Conjugando a estes fatores o vento quente e seco de Este, que aumenta o aquecimento e secagem dos combustíveis, a progressão do incêndio é favorecida, fazendo-se de acordo com o rumo do vento predominante (normalmente de Este para Oeste).

Estas condições ambientais, que agregam as características climáticas e o tipo de vegetação faz com que o país seja suscetível à ocorrência de incêndios, tendência que tem vindo a ser reforçada nas últimas quatro a cinco décadas, devido a mudanças demográficas e socioeconómicas. Esta tendência para o aumento da área ardida e do número de ocorrência de incêndios, verifica-se apesar de, cada vez, se investir mais em meios materiais e humanos no combate aos incêndios, bem como na vigilância e na prevenção, incluindo a realização de planos de ordenamento, campanhas públicas de sensibilização e a implementação de legislação mais restritiva no que se refere às atividades suscetíveis de causar incêndios (Pereira et al., 2010).

A floresta, além da área ardida, sofre bastantes impactos ambientais provocados pelos incêndios florestais, desde emissão de gases para a atmosfera à destruição de ecossistemas. Embora difícil de quantificar, as emissões de gases e partículas libertadas durante um incêndio, podem ser responsáveis por alguns impactos ambientais (os produtos emitidos durante um fogo florestal incluem dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), hidrocarbonetos não-metânicos (HCNM), óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e partículas (PM) (Miranda e Borrego, 2002)). Uma área devastada por um incêndio florestal, quando sujeita a chuvas intensas, pode tornar-se mais suscetível e originar mais facilmente, outro tipo de riscos tais como deslizamentos e cheias. Com a destruição da camada superficial vegetativa os solos ficam mais vulneráveis a fenómenos de erosão e transporte provocados pelas águas pluviais, reduzindo também a sua permeabilidade.

Para além da destruição da floresta os incêndios podem ser responsáveis por: morte e ferimentos nas populações e animais (queimaduras, inalação de partículas e gases); destruição de bens (casas, armazéns, postes de eletricidade comunicações, etc.); corte de vias de comunicação; alterações, por vezes de forma irreversível, do equilíbrio do meio natural;

proliferação e disseminação de pragas e doenças, quando o material ardido não é tratado convenientemente.

Apesar de todos os cuidados de prevenção e vigilância, os incêndios acabam por ocorrer, pelo que se torna necessário suprimi-los e combatê-los. (Viegas 1993) afirma que os incêndios são uma das catástrofes em que o homem pode tomar uma parte ativa e influir de forma decisiva no curso dos acontecimentos, ao contrário do que sucede nalgumas outras situações, em que pouco mais há a fazer do que prestar socorros e reparar os danos. A intervenção decidida e correta dos meios humanos num incêndio florestal pode fazer a diferença entre um pequeno incidente, sem significado global, ou uma grande catástrofe, responsável por si só pela destruição de uma área da floresta, de bens e até de vidas humanas (Viegas, 1993).

Os incêndios florestais constituem desta forma, um problema ambiental, com impactes à escala local e global, não só pelo facto de haver destruição de floresta, mas também por todos os impactos e prejuízos que causam nos ecossistemas, direta e indiretamente (aumento de erosão de solos, destruição de ecossistemas e perda de biodiversidade, libertação de gases para a atmosfera e aumento das temperaturas médias globais (aquecimento global), risco para as populações rurais e consequências ao nível das economias locais).

De facto, o conhecimento do risco é fundamental, principalmente quando se pretende a delineação de estratégias de defesa da floresta contra incêndios (DFCI) cujos objetivos, ações e metas preconizam intervenções em três domínios prioritários: prevenção, combate e reabilitação.

A distribuição espacial do risco de incêndio tem uma influência determinante no ordenamento do território e na salvaguarda das populações. Neste sentido, o Decreto-Lei 156/04 de 30 de Junho estabelece um conjunto de medidas e ações a desenvolver no âmbito do Sistema Nacional de Prevenção e Proteção da Floresta Contra Incêndios, o qual inclui a elaboração e divulgação do Índice de Risco de Incêndio. Assim, a elaboração de cartografia temática contribui, ou poderá contribuir, para um melhor combate aos fogos, bem como para uma melhor prevenção dos mesmos.

O objetivo do combate a um fogo é a sua extinção, que compreende um conjunto de ações e tarefas que devem ser realizadas com prontidão e eficiência, constituindo um trabalho fatigante, perigoso e incómodo. Assim, no combate a finalidade é quebrar o triângulo de

fogo, através da ação sobre os seus componentes, temperatura, combustível e oxigénio. Segundo Macedo e Sardinha (1993b), este combate pode ser feito de forma direta, pelo método direto de combate, pelo método paralelo ou pelo método indireto.

O método direto consiste em tentar extinguir uma faixa ao longo do perímetro do fogo, por meio de abafamento, por água ou separação mecânica do fogo e do combustível ainda não ardido. O método paralelo utiliza-se quando não se pode atacar diretamente o perímetro de fogo, e para dar tempo à construção de uma linha de contenção, suficientemente afastada da frente de fogo para que homens e equipamento trabalhem em segurança. A faixa de contenção constrói-se paralelamente ao perímetro de fogo em progressão, e daí o nome do método. O método indireto é mais flexível, quanto à localização da faixa de contenção, que os dois métodos anteriores, utilizando-se com este método um contrafogo para destruição antecipada dos combustíveis superficiais que se situam entre a faixa de contenção construída e a linha de frente de fogo que se aproxima, pois que assim se atenuará ou extinguirá o fogo principal antes de este atingir a faixa de contenção (Macedo e Sardinha, 1993b).

O êxodo das zonas rurais com efeitos no abandono das terras com vocação agrícola e/ou florestal tem contribuído, de forma determinante, para a criação de condições favoráveis à ocorrência de fogos e à sua propagação (Vélez, 2006). De facto, ações que assentavam em práticas como: i) a limpeza das matas com remoção da folhada, colheita de lenha e outros produtos florestais, ii) a utilização de pequenos ruminantes no consumo do material lenhoso e herbáceo do estrato superficial das matas, iii) as queimadas controladas utilizadas para o renovo de pastagens e destruição de ervas daninhas e o controlo do mato, entre outras, contribuíam de uma forma direta para uma menor acumulação de biomassa vegetal com elevada combustibilidade nos diferentes ecossistemas multifuncionais. De acordo com Zetler e Castro Rego (2006), a continuidade de grandes manchas florestais é um dos fatores que influencia positivamente a propagação dos fogos no estrato copas. Parece assim que o recurso à utilização de áreas limpas como zonas de proteção, de forma a dar descontinuidade às manchas florestais, poderá ser um recurso para limitar a propagação de fogos. Além destas, uma proposta de intervenção em espaços florestais na qual a silvo pastorícia constitui um instrumento de gestão e de ordenamento daqueles espaços, pode contribuir para a diminuição dos riscos de incêndio.

Isto porque proporciona um rendimento económico anual para o criador, para além de contribuir para a regularização do crescimento das herbáceas e arbustivas, evitando assim a

acumulação de biomassa e diminuindo o risco de ocorrência de incêndios. A permanência do animal a pastorear no meio da floresta traz consigo um outro elemento benéfico, o pastor. Para além da vigilância efetiva da floresta o pastor contribui, através da desmatação para a cama dos animais e da eliminação de infestantes de reduzido valor alimentar para os animais, para o controlo da biomassa que cresce sob coberto das árvores.

Estas estratégias traduzem-se, pois, num conjunto articulado de ações com vista a fomentar a gestão ativa da floresta, criando condições propícias para a minimização dos riscos de incêndios florestais, que constitui uma das seis linhas de ação estratégicas para o desenvolvimento sustentável do sector florestal em Portugal (estratégia nacional para as Florestas, 2006), e para a redução progressiva quer do número de incêndios florestais, quer da extensão das áreas ardidas.

A recorrência dos incêndios pode ser um elemento fundamental na identificação das áreas de risco. Entendida como a ocorrência sistemática de incêndios numa dada área, a recorrência reflete indiretamente todas as variáveis envolvidas no processo, desde as condições de natureza física (meteorológicas, combustíveis, relevo...), até às causas diretas e indiretas do fogo, essencialmente de origem humana, passando ainda pela eficiência, ou não, da prevenção e do combate, constituindo, deste modo, do nosso ponto de vista, um indicador relevante na identificação expedita das áreas de risco, expresso sob a forma cartográfica.

Normalmente os incêndios florestais ocorrem quando se verificam condições meteorológicas extremas, ocorrem ignições que não são imediatamente extintas em espaços agrícolas, florestais e matagais não geridos e se verifica a exaustão ou falta de eficácia dos meios de combate a incêndios. Urge neste sentido, suportar metodologias articulando instrumentos de gestão territorial e agentes de ação local e regional no sentido de combater a ocorrência de incêndios florestais, passando fundamentalmente pela prevenção do risco, criando modelos e simulações de forma a agir antecipadamente à ocorrência do fenómeno.

### **2.1.2 – Uma abordagem à gestão florestal como forma de evitar os incêndios florestais**

A floresta é o sector que apresenta um dos mais elevados potenciais de desenvolvimento, com reflexos muito importantes na economia nacional, como também nos serviços ambientais e sociais que presta (DGRF, 2007a; Ribeiro, 2008). O sector florestal representa

cerca de 10% das exportações, cerca de 3,2% do PIB e 12% do PIB industrial (DGRF, 2007a; Ribeiro, 2008). A floresta também está associada a distintas atividades com menor representatividade económica, tais como, a caça, a produção de mel e pesca, ou mais dificilmente quantificáveis, como por exemplo, diversidade biológica, qualidade do solo, quantidade e qualidade da água, redução do risco de cheias a jusante, sequestro de carbono, paisagem (DGRF, 2007a).

Os incêndios florestais têm grande impacto no sector florestal em Portugal, sendo indispensável a redução da extensão dos incêndios florestais. É necessário reunir esforços para se conseguir gerir áreas florestais de forma a prevenir e reduzir a ocorrência de incêndios e aumentar a eficácia do combate aos incêndios. É necessária uma aproximação em que integre características ecológicas e socioeconómicas para o planeamento e gestão florestal dos fogos florestais (FAO, 2007). Os incêndios são o agente mais importante de alteração do uso do solo em Portugal, sendo uma grande ameaça ao sector florestal. É necessário uma gestão ativa e a respetiva incorporação da gestão do fogo na gestão florestal. Neste sentido é importante que haja modelação da probabilidade de ocorrência de incêndio, incorporando vários fatores que determinam o risco de incêndio e fatores controláveis pelo gestor florestal.

A floresta portuguesa é constituída essencialmente por pinheiro bravo e outras espécies, originárias ou não do nosso território: sobreiros, azinheiras, eucaliptos e carvalhos. O pinheiro bravo tornou-se a espécie dominante no território continental português no século XX. Reúne as condições ideais para proporcionar o desenvolvimento de grandes incêndios, principalmente por se associar a vegetação arbustiva de grande combustibilidade. É em zonas com grandes áreas contínuas de Pinheiro Bravo que se verificam maiores extensões de área ardida. Também o eucalipto é uma espécie bastante combustível. Por se encontrar, geralmente em povoamentos onde as extrações de matos são frequentes, não possui grande taxa de destruição pelos incêndios. Já os sobreiros e as azinheiras, essenciais constituintes dos sistemas agroflorestais alentejanos, são árvores resistentes ao fogo. A cortiça do sobreiro funciona até como auto defesa da planta às altas temperaturas. Para além das florestas, existem zonas agrícolas e matos, de acordo com o tipo de cobertura vegetal existente.

As zonas agrícolas são, em geral, pouco suscetíveis a arder, dependendo, evidentemente da época do ano. Os matos, caso sejam constituídos sobretudo por herbáceas, tem um comportamento semelhante ao das searas, ou seja, o fogo espalha-se muito rapidamente pelo

seu interior. Quando este é bastante denso, da altura de um pessoa ou mais, o risco é ainda maior, devido à elevada quantidade de energia libertada.

Para reduzir a área ardida e evitar a perda de potencial económico da floresta, levando ao afastamento dos proprietários e consequente desinteresse do investimento na floresta, é necessária a existência de modelos que ajudem a avaliar e prever o risco de incêndio e respetivos danos causados, integrando estas considerações na tomada de decisão do gestor florestal.

No entanto, é do senso comum que o problema dos incêndios tem de ser atacado a montante, mais precisamente ao nível do ordenamento do território e da gestão florestal (Santos et al. 2005).

Existem muitos fatores que influenciam a probabilidade de um incêndio atingir um povoamento florestal. O gestor, no entanto, pode controlar alguns destes fatores, como por exemplo, a composição de espécies e a estrutura do povoamento. Esta informação deve estar disponibilizada por inventários florestais, permitindo a construção de um modelo de risco útil ao planeamento florestal. Desta forma permite ao gestor melhor tomada decisão (González et al., 2006). Os fatores não controláveis pelo gestor devem ser integrados no modelo, como por exemplo a topografia e o clima, como também fatores relacionados com a atividade humana, como a densidade populacional, distância às estradas, e o tipo de uso do solo.

É difícil reduzir o número de ignições atuando apenas na sua origem, através da educação cívica, logo é essencial reduzir a extensão da área ardida, (DGRF, 2007a; Pereira et al., 2010). Neste sentido, um dos eixos estratégicos do Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI), publicado em Diário da República nº 102 I-B Série, é o aumento da resiliência do território aos incêndios, promovendo uma gestão ativa das áreas florestais, para a redução dos incêndios florestais. Este assunto é retomado na Estratégia Nacional para as Florestas (aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros nº 114/2006) (DGRF, 2007a).

A redução da área ardida decorrerá do sucesso da integração dos processos de planeamento da gestão da floresta e do fogo que atualmente se desenvolvem de forma independente, integrando no planeamento da gestão florestal considerações relativas ao risco e as medidas

de prevenção e de gestão do fogo poderão ser ponderadas em função da diminuição do risco e das perdas (Borges e Uva, 2006; Pereira et al., 2010).

Uma das medidas tomadas no pós-2003 destinou-se precisamente a promover estas estratégias de montante, através da criação das bases legais para a implementação de um novo conceito e nova figura de planeamento, a qual consiste na formação de núcleos individuais de territórios maioritariamente florestais, contíguos e de dimensão considerável (mínimo de 750 hectares), enquadrados nas regiões dos planos regionais de ordenamento florestal (PROF), sob gestão de uma única entidade e seguindo as orientações de instrumentos de planeamento elaborados para cada um destes núcleos (DL n.º 127/2005, de 5 de Agosto). Foram assim criadas as Zonas de Intervenção Florestal (ZIF). Uma ZIF entende-se como um território contínuo maioritariamente composto por parcelas florestais, com uma dimensão mínima de 750 hectares e submetido a um plano de gestão florestal (PGF) e a um plano específico de intervenção florestal (PEIF), ambos elaborados, promovidos e/ou executados por uma única entidade, designada para o efeito por entidade gestora. As ZIF são um conceito idealizado há alguns anos atrás, precisamente em 1996 na Lei de Bases da Política Florestal (Lei n.º 33/1996, de 1 de Agosto), altura em que pela primeira vez foi utilizada esta designação. Contudo, apenas em 2005 foram criadas as bases legais para a sua constituição (DL n.º 127/2005), considerada como uma das principais medidas do pós-2003 (Silva, Deus e Saldanha, 2008).

O facto de ter ardido a maior área registada pelas estatísticas, acabou por ser um ponto de viragem nas estratégias de defesa da floresta contra incêndios, as quais teriam de passar obrigatoriamente por uma reestruturação e reconfiguração dos espaços florestais, dotando-os igualmente de uma gestão concertada e, acima de tudo, sustentável aos níveis ambiental e económico. Pretendeu-se assim com as ZIF contornar os principais constrangimentos da floresta portuguesa: o absentismo dos proprietários florestais, o predomínio do minifúndio bem como a ausência de gestão florestal e de medidas adequadas de ordenamento e planeamento.

O fogo é uma das principais causas das devastações que afetam a floresta, pelo que o seu combate se reveste de tanta importância como qualquer outro domínio da produção florestal (Macedo e Sardinha, 1993<sup>a</sup>). As consequências florestais motivadas pelos incêndios têm um conjunto de efeitos imediatos para os proprietários afetados. Causam perturbação em todo o



sector florestal, alterando drasticamente os fluxos atuais e futuros dos bens e serviços produzidos nas e pelas florestas. Alteram o ritmo e as necessidades de trabalho, inibindo o investimento privado na produção florestal (lenhosa), particularmente nas espécies de ciclo mais longo, como o pinheiro bravo ou folhosas madeireiras. Os incêndios florestais têm grandes efeitos a nível ambiental, alterando a estrutura vegetal e respetiva biodiversidade, como ao nível social, sendo estes efeitos de dimensão diretamente proporcional às áreas afetadas (Nunes et al., 2005; Zedler e Rego, 2006; Pereira et al., 2010).

As alterações no uso do solo e no regime de fogo impelem os gestores florestais para uma abordagem da defesa da floresta contra incêndios. Entender o comportamento do fogo é importantíssimo para prever o impacto dos incêndios e fazer um plano de gestão florestal adequado.

Assim sendo, o tipo de cobertura da floresta e o combustível têm um impacto substancial na ocorrência de incêndios (Vélez, 1990, Cumming, 2001, Ceccato et al., 2002, Castro et al 2003) e pode ser manipulado aquando do planeamento de gestão de modo a minimizar os riscos. O fogo controlado é uma ferramenta que pode ser utilizada para alcançar distintos objetivos de gestão, entre eles a proteção contra incêndios.

Um sistema de gestão territorial deve incorporar uma gestão integral dos incêndios florestais. Como meio de apoio à decisão é necessário uma base de dados suficientemente atualizados e precisos das áreas que podem sofrer ações do fogo associados à presença humana no território. Essa medida permite ao gestor uma compreensão global dos fatores de risco (ameaça e vulnerabilidade), bem como dos mecanismos relacionados que legitimam a sua ação. É necessário reunir esforços para conseguir gerir as áreas florestais de forma a prevenir os incêndios e a aumentar a eficácia no combate. Uma mais valia é o tipo de gestão praticada que influencia o risco de incêndio (Gadow, 2000).

No entanto, por vezes esta tarefa é difícil já que a floresta em Portugal está muito fragmentada, e existem muitas áreas que pertencem a pequenos proprietários florestais, e são raras as que constituem grandes manchas florestais contínuas que pertençam a um único proprietário público ou privado. Este facto associado aos conflitos entre proprietários e à divergência de interesses por parte dos mesmos é uma das dificuldades encontradas na proteção das florestas.

Um sistema de modelos que previna os efeitos do fogo na floresta permite evidenciar quais as características do povoamento que devem ser alteradas de forma a atingir o objetivo pretendido. Com esta ferramenta o proprietário é capaz de variar algumas das componentes do seu povoamento e analisar as consequências ecológicas e financeiras das suas decisões de gestão. Importa intervir uma vez que o risco da ocorrência de um fogo diminui o potencial económico da floresta e o aumento dos prejuízos verificados devido ao fogo pode afastar o interesse por parte dos proprietários e levar a um aumento do abandono dos espaços florestais. Assim torna-se necessária a existência de modelos que nos ajudem a prever os danos e a avaliar o risco para a tomada de decisão.

A distribuição espacial do risco de incêndio tem uma influência determinante no ordenamento do território e na salvaguarda das populações. Neste sentido, o Decreto-Lei 156/04 de 30 de Junho estabelece um conjunto de medidas e ações a desenvolver no âmbito do SNPPFCI, o qual inclui a elaboração e divulgação do Índice de Risco de Incêndio.

Assim, a elaboração de cartografia temática contribui, ou poderá contribuir, para um melhor combate aos fogos, bem como para uma melhor prevenção dos mesmos. Outra das metas estabelecidas no PNDFCI é a eliminação de incêndios com áreas superiores a 1000 ha. Tal meta depende essencialmente da aplicação das medidas de prevenção estrutural, de ordenamento e gestão florestal. Medidas essas que se centram sobretudo numa melhoria das ações de silvicultura tendo em vista a gestão, tais como a redução de densidades e no plano preventivo, na beneficiação da rede viária e essencialmente na compartimentação das áreas florestais, mediante a execução de mosaicos de gestão de combustível com recurso ao fogo controlado e à execução da Rede Primária divisional. Neste sentido, há recomendações para o governo adotar espécies adequadas nas ações de repovoamento e reordenamento florestal, bem como a adoção dos necessários mecanismos de prevenção.

Nas orientações revistas no plano defesa da floresta contra incêndios (DFCI) no território com base nos trabalhos de planeamento realizados pela referida estrutura de missão criada após os incêndios do Verão de 2003 para planear a recuperação das áreas ardidas foram identificadas três linhas de ação principais para uma nova intervenção no espaço rural:

A primeira é a criação de novos modelos de organização territorial e de gestão:

- Nesta linha de ação visa-se não só condicionar a expansão e redução das áreas arborizadas e a alteração da composição da floresta, num quadro de racionalidade ecológica e

económica e sempre no âmbito das zonas de intervenção florestal (ZIF) e dos planos de gestão florestal, mas também definir e implementar generalizadamente medidas de silvicultura preventiva, gerir corretamente a vegetação das galerias ribeirinhas, proteger os aglomerados populacionais e condicionar a nova edificação nos espaços rurais.

Além disso, é importante salientar a necessidade de executar medidas de silvicultura preventiva, entendida como a gestão da estrutura (continuidades vertical e horizontal dos estratos de combustível) e composição florestais (inflamabilidade e combustibilidade das espécies), à escala do povoamento, a qual visa dificultar a progressão do fogo e diminuir a sua intensidade, limitando os danos potenciais causados no arvoredo. Pretende-se, desta forma pretende-se conferir aos povoamentos a máxima resistência à passagem do fogo e reduzir a dependência das forças de combate para a sua proteção, complementando as redes regionais e locais de defesa da floresta.

No que respeita à propagação do fogo, é relevante considerar que, a composição dos povoamentos desempenha um papel muito menos importante que a sua estrutura interna, facto que deve ser tido em consideração no processo de seleção das espécies (foi estimado que a gestão das continuidades horizontal e vertical dos estratos de combustíveis contribui em cerca de  $\frac{3}{4}$  para a resistência dos povoamentos ao fogo).

A seleção de espécies que apresentem uma elevada resistência a incêndios de baixa ou média severidade (como o sobreiro ou o pinheiro-bravo na fase adulta) ou boa capacidade de recuperação após o fogo, sobretudo por regeneração vegetativa (ex: espécies folhosas da região mediterrânica), constitui também uma forma de aumentar a resiliência dos povoamentos e a permanência de paisagens arborizadas.

Esta linha de ação é a de mais difícil concretização, porque dos mais de 5,5 milhões de hectares de espaços florestais, grande parte não estão cadastrados e que os pequenos proprietários há muito que deixaram de se preocupar com sua gestão.

A segunda consiste na seleção dos modelos gerais de silvicultura mais adequados, recorrendo a um conjunto de espécies de utilização prioritária;

A terceira corresponde ao desenvolvimento de um novo modelo de infraestruturação dos espaços florestais, com a conceção, planeamento e execução de redes regionais de defesa da

floresta (RDF), que compartimentam os espaços florestais, garantem a gestão estratégica dos combustíveis e integram as principais vertentes da defesa da floresta contra incêndios.

As alterações da paisagem através da distribuição dos usos do solo com vista ao estabelecimento de descontinuidades nas formações vegetais e o tratamento estratégico dos combustíveis florestais constituem duas das principais componentes da reestruturação dos espaços florestais e são um complemento indispensável às medidas de silvicultura preventiva, que operam à escala do povoamento. Existem duas estratégias complementares de intervenção na modificação dos combustíveis quanto ao seu arranjo espacial: faixas de gestão de combustível, numa lógica de “contenção ativa” do fogo em bandas que definem compartimentos mais ou menos vastos, e parcelas de gestão de combustível, que atuam numa lógica de modificação do comportamento do fogo em pontos identificados como críticos, para os quais se definem zonas de tratamento de combustíveis de dimensão variável, com o objetivo de retardar o mais possível o avanço das frentes de fogo.

Numa região predominantemente florestal entende-se por faixa de gestão de combustível (FGC) uma porção de território, com forma mais ou menos linear, onde se garante a remoção total ou parcial de biomassa florestal, através da afetação a usos não florestais (agricultura, infraestruturas, etc.) e do recurso a determinadas atividades (silvopastorícia, etc.) ou a técnicas silvícolas (desbastes, desramações, limpezas, fogo controlado, etc.), com o objetivo principal de reduzir o perigo de incêndio.

Em conjunto com as redes de faixas, a manutenção de um mosaico de parcelas de gestão de combustível, estrategicamente localizadas, onde se procede à gestão dos vários estratos de combustível e à diversificação da estrutura e composição das formações vegetais, contribui decisivamente para a eliminação das principais condições que contribuem para os fogos de dimensão e intensidade catastróficas.

A criação de zonas de intervenção florestal constitui uma oportunidade para a concretização no terreno de estratégias de DFCI mais esclarecidas e integradas nas restantes vertentes da política florestal e nas outras políticas sectoriais.

Em Portugal, 86% das áreas florestais são propriedade privada. As empresas florestais e industriais de grande dimensão associadas ao eucalipto ou ao montado tendem a gerir de forma eficiente os seus recursos praticando uma gestão cuidada e certificada, no entanto

apesar dos esforços das associações florestais, na generalidade da floresta privada a gestão é ineficiente. Este facto associado aos conflitos entre proprietários e à divergência de interesses por parte dos mesmos é também uma dificuldade encontrada na proteção das florestas. Para além disso, o planeamento da gestão das Matas Nacionais e de Perímetros Florestais carecem de recursos que lhes permitam servir de modelo de gestão da floresta (Silva et al., 2007; CELPA, 2009; Pereira et al., 2010).

Para reduzir a área ardida e evitar a perda de potencial económico da floresta, levando ao afastamento dos proprietários e consequente desinteresse do investimento na floresta, é necessária a existência de modelos que ajudem a avaliar e prever o risco de incêndio e respetivos danos causados, integrando estas considerações na tomada de decisão do gestor florestal e recorrendo a instrumentos de gestão territorial.

## **2.2 – Modelação do risco de incêndio florestal**

A modelação ambiental estuda a representação de fenómenos complexos, onde fatores económicos, sociais, climáticos e ecológicos, entre outros podem ser considerados.

Os primeiros modelos ambientais não eram espacialmente explícitos, isto é, não se preocupavam com o padrão espacial das mudanças ocorridas ou com o prognóstico do local onde as mudanças deveriam ocorrer (Carneiro, 2004).

Atualmente, existe uma grande variedade de modelos espacialmente explícitos, aplicáveis a uma grande diversidade de áreas, tais como: difusão de epidemias, dinâmicas populacionais, mudanças do uso do solo, dinâmicas florestais e propagação de fogo (Soares-Filho et al., 2003).

Muitos destes métodos são apoiados pela introdução de dados provenientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e da monitorização por satélite.

A aplicação de modelos espaciais à problemática de incêndios florestais, tem vindo a assumir cada vez mais relevância, uma vez que a simulação da ocorrência de um fogo, atendendo a determinadas variáveis climáticas, topográficas e de combustíveis permitirá conhecer

melhor o seu comportamento, podendo ter uma intervenção antecipada na sua prevenção ou encontrar melhores estratégias no seu combate.

“Um incêndio florestal é na sua essência o reflexo do comportamento do fogo. O desenvolvimento de um incêndio, os efeitos no solo e na vegetação por ele provocados, e a dificuldade de controlo por ele demonstrada, dependem do comportamento do fogo” (Viegas e Cruz 2001). “Por definição o comportamento do fogo é a forma como o combustível se inflama, como as chamas se desenvolvem, como o fogo se propaga e exhibe outras características, determinada pela interação entre os combustíveis, as variáveis meteorológicas e a topografia” (Merril e Alexander (1987) citado em Viegas e Cruz, 2001,p. 2).

A propagação do fogo está relacionada com diversos fatores. As condições climáticas das quais se destacam a temperatura, a humidade do ar, o vento e a precipitação e a sua variabilidade ao longo do tempo assumem relevância particular, uma vez que condicionam fortemente a disseminação ou possibilidade de extinção do fogo.

A topografia, no que se refere à altitude, declives e exposições também têm de ser considerados pois irão condicionar o tipo de vegetação existente, influenciam os elementos climáticos e o comportamento do fogo. Por sua vez, o tipo, quantidade e grau de secura da vegetação combustível, obtida através de cartografia de ocupação e uso do solo é especialmente útil, para o conhecimento do estado dos combustíveis com relevância para a sua inflamabilidade.

As acessibilidades ao local do incêndio, tempo de intervenção (tempo entre o alerta e a primeira intervenção no ataque ao fogo, vulgarmente designada como ataque inicial), são também aspetos que devem ser considerados.

Um incêndio pode propagar-se pela superfície do terreno, pelas copas das árvores e através da manta morta. Os incêndios de grandes proporções são normalmente avistados a vários quilómetros, devido aos seus fumos negros e densos.

Três fatores simultâneos são necessários para que os incêndios florestais ocorram: condições meteorológicas propícias; disponibilidade de combustível vegetal; e existência de fonte de ignição.

A propagação do incêndio pode ser classificada em função do estrato da floresta que o suporta. Assim podemos ter fogo de solo, de superfície, de copas e, nos casos em que a propagação é feita por projeção de partículas incandescentes, focos secundários. A velocidade de um incêndio entende-se como o espaço percorrido por unidade de tempo. (Pode expressar-se m/min, m/h ou km/h). Este parâmetro é também essencial para o planeamento das ações de combate. O tipo de vegetação, engloba a folhada, as herbáceas, os arbustos, os ramos e troncos mortos e os sobrantes de corte. As características deste grupo são determinantes para a ignição e propagação dos incêndios florestais. A unidade usada para a medir pode ser a Ton/ha ou o Kg/m<sup>2</sup>. Os combustíveis finos mortos, independentemente da espécie, constituem o grupo de maior importância na propagação dos incêndios florestais. Isto deve-se ao facto destes combustíveis variarem o seu teor de humidade muito rapidamente como resposta às condições meteorológicas. O teor de humidade, por sua vez, condiciona de forma decisiva a intensidade e velocidade de propagação. Em combustíveis finos mortos com teores de humidade menores de 10%, o incêndio adquire um comportamento muito mais violento. A quantidade de combustível fino morto existente numa massa florestal e o seu teor de humidade são dois aspetos fundamentais a ter em conta na análise e descrição das propriedades dos combustíveis. O combustível fino morto existe essencialmente nas copas dos arbustos, na folhada e nos restos de corte.

Os combustíveis florestais representam a matéria orgânica disponível para a ignição do fogo e combustão, e representam o único fator que pode ser controlado ao nível de gestão e planeamento do território (Chuvieco e Martin, 1994).

Sendo que o comportamento do fogo depende da topografia, das condições meteorológicas e do complexo combustível este último parâmetro é o único em que o Homem tem capacidade de intervenção. O combustível é, por definição, todo o material orgânico vivo ou morto que pode inflamar-se e alimentar as chamas de um incêndio florestal (Sullivan e McCaw 2009).

Dada a complexidade que envolve a caracterização de combustíveis florestais, a representação dos combustíveis em modelos revela-se fundamental. Para Freire et al. (2002) os modelos de combustível providenciam uma representação qualitativa e quantitativa de várias propriedades físicas e químicas dos tipos de vegetação florestal.

A cartografia de combustíveis tem três funções fundamentais: é informação fulcral na simulação e estudo do comportamento do fogo, permite definir zonas de gestão de combustíveis e aplicação de práticas de silvicultura preventiva e, ainda permite definir a localização ótima de locais estratégicos de estacionamento e de locais prioritários para vigilância móvel. A disponibilidade de cartografia mais precisa e atualizada sobre estes combustíveis constitui uma mais-valia para o planeamento de ações de prevenção e combate aos fogos florestais.

Assim, para obtermos os modelos temos que ter inputs: de topografia (hipsometria; declives; exposições), clima (temperatura do ar, humidade relativa do ar, precipitação e vento), e modelos de combustível (ocupação e uso do solo).



Figura 1 - Esquema de inputs a introduzir no modelo ambiental

Ao considerar as variáveis anteriores, apesar das lacunas que possam existir, ao nível do rigor e atualização da informação disponível, é possível realizar simulações criando cenários diferenciados podendo compreender melhor as dinâmicas do comportamento do fogo, considerando também a possibilidade de criar ações e estratégias de melhor atuação face a esta problemática. Estas ações podem incluir a programação de intervenções preventivas, como a silvicultura preventiva dos espaços florestais, ou a afetação proporcional de recursos financeiros e materiais às áreas de maior risco potencial de incêndio.

A exploração das potencialidades dos simuladores de incêndios florestais, que operam em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramentas de apoio à decisão na prevenção estrutural de incêndios, tendo como referência um conjunto de cenários diferenciados. Estas ferramentas de modelação permitem compreender a dinâmica de propagação de grandes incêndios florestais, num determinado território e a sua consequente aplicação à gestão dos espaços florestais e ordenamento do território.



Deste modo, a modelação do risco associado aos incêndios florestais assume assim uma grande importância, pois através desta, é possível monitorizar informação que caracterize o meio biofísico e sociocultural, com o intuito de disponibilizar cartografia de risco de incêndio florestal de uma forma dinâmica e atual.

Em Portugal determinam-se os índices de risco meteorológico que estimam o risco de incêndio com base nos fatores meteorológicos. Estes têm muito em conta o teor de humidade dos combustíveis, calculado com base nos parâmetros meteorológicos, e refletem o seu potencial em ambiente de fogo. Usa-se o Fire Weather Index, (FWI), que foi criado no Canadá mas é usado por vários países de diferentes regiões do mundo, sendo referido como o modelo que melhor se adapta ao Sul da Europa. Este modelo foi calibrado para os diferentes distritos do País com base no número de incêndios e nas áreas ardidas (Viegas et al., 2004). Embora concebido para as florestas canadianas, Viegas et al. (1999) apontam o seu bom desempenho e adequabilidade a Portugal. É o sistema utilizado pelo Instituto de Meteorologia para previsão do risco diário de incêndio para Portugal e desde 2002 que o índice FWI é calculado diariamente pelo Instituto de Meteorologia sem interrupções ao longo do ano, com utilização operacional nas ações de prevenção e combate dos incêndios florestais, inclusive na época de Inverno (Bugalho et al., 2006).

A análise dos sub-índices fornece informação muito relevante para as diversas fases: Prevenção, Combate e Rescaldo. O FWI, índice de perigo meteorológico, é o resultado final. Relaciona-se diretamente com a possibilidade de ocorrência de incêndios e com a perigosidade dos mesmos. Pode ser considerado como um bom indicador do potencial comportamento do fogo - da sua velocidade e intensidade - e da dificuldade de extinção (Viegas et al., 2004). O FWI apresenta 5 classes de risco, Baixo, Moderado, Alto, Muito Alto e Extremo.

A previsão do comportamento do fogo é uma tarefa difícil, dada a complexidade dos fenómenos que constituem a combustão e propagação de um incêndio. Van Wagner (1971) refere que o comportamento do fogo é demasiado complicado para permitir uma modelação adequada, obtida diretamente pela teoria sem recorrer à experimentação.

De facto, mesmo depois de mais de um século de investigação ainda não existem modelos que prevejam de forma fiável qual o comportamento futuro de um incêndio florestal (Rossa, 2009). Um dos fatores que introduz maior dificuldade na modelação do comportamento do

fogo é o seu comportamento dinâmico, ou seja, a alteração das propriedades de propagação ao longo do tempo mesmo para condições de fronteira constante (Viegas, 2004).

O comportamento do fogo é um conjunto de características que definem a forma como este se propaga. As características mais comumente analisadas são: a velocidade de propagação, a intensidade (energia libertada por unidade de tempo por metro linear de frente) e a geometria de chama (altura, comprimento e ângulo). O comportamento do fogo resulta da interação do combustível, das condições meteorológicas, da topografia e do próprio incêndio (Sullivan e McCaw, 2009).

A importância de conhecer as características e os fatores que determinam o risco de incêndio é amplamente reconhecido. Muitos estudos concentram-se em fatores não controláveis pelos gestores florestais, nomeadamente: Clima; Topografia; e Atividade humana.

Alguns autores evidenciam a importância que o clima tem na ocorrência e severidade dos incêndios independentemente do tipo de combustível. No entanto, muitos autores verificaram o impacto que o tipo de coberto e a carga de combustível tem ao nível da probabilidade de ocorrência de incêndio podendo ser manipulados pelos gestores florestais de forma a reduzir o risco de incêndio.

De acordo com Fernandes et al. (2006), a probabilidade de ocorrência de incêndio depende principalmente das práticas de gestão.

A complexidade dos fatores que influenciam um incêndio florestal criou a necessidade de estudos que possam prever o comportamento do incêndio. A falta de informação sobre os incêndios florestais conduziu à criação de modelos matemáticos que predizem o comportamento potencial de um fogo (Grupe, 1998). A modelação do comportamento do fogo tem-se tornado num meio prático de quantificar o fenómeno incêndio florestal, constituindo uma ferramenta para decidir e organizar as atividades de prevenção, as estratégias e táticas de combate e o treino das equipas de combate (Botelho et al., 1989).

Hoje em dia, há muitos modelos de comportamento do incêndio, cada um utilizando um método diferente para prever o processo de propagação do fogo. Um modelo do comportamento do fogo é uma equação simplificada que procura simular o incêndio através dos fatores que mais o influenciam. Isto torna o modelo apenas a representação de uma realidade específica, com limitações as quais restringem seu uso (Batista, 1998).

Alguns destes programas de computação têm a habilidade de projetar o crescimento futuro do incêndio e calcular possíveis parâmetros de incêndios florestais para aplicações no planeamento ou para simulações de tempo real (Campbell et al. 1995; Richards, 1990). Segundo Keane et al. (2000), um dos melhores modelos espaciais do crescimento do incêndio é o programa FARSITE - Simulador de Área de Incêndio (Finney e Ryan, 1995; Finney, 1998). O FARSITE simula o comportamento espacial e temporal do fogo sobre uma paisagem com condições heterogêneas de topografia, combustíveis e clima (Finney, 1998).

A avaliação do comportamento do incêndio, na sua fase inicial ou avançada, bem como dos fatores determinantes na sua propagação, constituem o primeiro passo para a definição da estratégia de combate. O tipo de combate, direto ou indireto, terá sempre de ser adaptado à intensidade do incêndio uma vez que a sua eficácia depende diretamente deste indicador do comportamento do fogo.

O comportamento do incêndio será um reflexo das condições ambientais onde se desenvolve e do seu comportamento dinâmico. Se todos os fatores forem favoráveis à sua progressão, este apresentará um comportamento mais violento, assim, o combate será mais fácil quando os fatores determinantes forem desfavoráveis à progressão. A avaliação dos fatores pode dar indicação de quando é que o incêndio irá perder ou aumentar de intensidade.

O vento é ar em movimento impulsionado por variações de pressões com origem térmica. O ar em movimento é um fator decisivo na propagação do incêndio florestal, se tiver direção favorável ao incêndio, aumenta a sua velocidade e intensidade, favorece também a ocorrência de focos secundários. A sua avaliação é mais complexa uma vez que este não se mantém constante ao longo do tempo. A mudança de intensidade e direção pode originar o aumento de intensidade e velocidade de zonas mais calmas do incêndio, como os flancos, sendo extremamente perigosas para quem efetua o combate.

O acesso precoce a uma carta de vento pode prevenir estas surpresas e, por outro lado, pode indicar qual a hora mais favorável para o combate de um certo sector do incêndio, ou seja, quando a direção do vento for contra a da propagação. Podemos referir três tipos de movimentos de ar nos incêndios florestais. O Vento local é o que pode ser descrito pelas cartas emitidas pelo instituto de meteorologia. Em zonas de montanha a sua ação sobre o incêndio varia devido à diferente orientação das encostas, nas zonas de inflexão das vertentes podem existir mudanças de comportamento do fogo devido à alteração da exposição ao

vento. A avaliação do declive faz-se por observação direta ou com o apoio de cartografia e imagens aéreas. A distribuição horizontal dos combustíveis condiciona a propagação do incêndio. Nas descontinuidades da vegetação o incêndio diminui de intensidade, podendo em alguns casos extinguir-se. Assim, caminhos e outras descontinuidades são zonas onde o combate é facilitado. A orientação e largura das descontinuidades são decisivas para a sua eficácia, tanto para a autoextinção ou para apoio às manobras de combate direto ou indireto. A eficácia das descontinuidades é diferente se o incêndio está a subir ou a descer a encosta, devido ao efeito do declive e aos focos secundários. No geral, as descontinuidades abaixo da linha de fogo, com o incêndio a descer, são zonas mais favoráveis ao combate, contudo, incêndios de intensidade elevada e muito elevada, com fogo de copas e projeções, podem tornar o combate ineficaz. As descontinuidades paralelas à linha de fogo podem tornar o combate mais difícil, uma vez que o incêndio chega ao mesmo tempo à descontinuidade, podendo mesmo encurralar os combatentes. Os matos e outros arbustos têm enorme importância na propagação do incêndio florestal.

A quantidade deste combustível, a sua % de combustível morto e o respetivo teor de humidade serão decisivos para a velocidade e intensidade do incêndio.

A consulta do índice de risco meteorológico é essencial para prever o grau de dificuldade do combate e o potencial do incêndio. As imagens aéreas são um bom apoio para a análise da continuidade e tipo de combustível. O combate aos incêndios florestais está diretamente relacionado com o seu comportamento e com os fatores condicionantes, não devendo o mesmo ser efetuado sem uma boa análise dos mesmos. A análise da dinâmica de evolução do incêndio é um aspeto fundamental para planear o combate. É mais fácil, seguro e eficaz combater o incêndio quando este está mais fraco, ou seja, quando os fatores determinantes na propagação não lhe são tão favoráveis.

Para Fernandes et al., (2002) os impactes do fogo no ambiente e do Homem sobre o fogo são intermediados e condicionados pela vegetação, o que justifica a sua descrição como um combustível. Os combustíveis florestais representam a matéria orgânica disponível para a ignição do fogo e combustão, e representam o único fator que pode ser controlado ao nível da gestão e planeamento do território (Chuvieco e Martin, 1994), e podem ser definidos pelas características das partículas de biomassa, viva e/ou morta, que contribuí para a propagação, intensidade e severidade dos fogos florestais (Burgan e Rothermel, 1984). Dada a

complexidade que envolve a caracterização de combustíveis florestais, a representação dos combustíveis em modelos revela-se fundamental.

A caracterização do comportamento do fogo assume particular importância no processo de tomada de decisão uma vez que a ele estão diretamente ligados o planeamento de fogos controlados (Fernandes e Botelho, 2003, Cruz, 2005), a quantificação da efetividade de tratamento de combustíveis, as dificuldades de contenção de um incêndio e os efeitos do fogo (Cruz, 2005), assim como é essencial, segundo Keane et al. (2001), para modelar o risco. Por outro lado, a qualidade e quantidade dos dados de entrada ainda está longe de ser a desejável, particularmente no que respeita aos dados meteorológicos e cartografia de modelos de combustível. O imperativo legal de se incluir cartografia de combustíveis nos Planos Municipais de Defesa da Floresta contra Incêndios tem conduzido a formas rápidas e simplistas de elaborar esta cartografia, resumindo-a a uma reclassificação da cartografia de ocupação do solo em modelos de combustível, desprezando as especificidades regionais que condicionam a distribuição da vegetação.

Esta alternativa não se afigura ideal uma vez que a cartografia disponível de ocupação do solo não foi elaborada a escalas compatíveis com a caracterização de combustíveis, a que acresce o facto de esta cartografia não ser atualizada com a periodicidade desejada. Assim, a larga maioria da cartografia de combustíveis produzida desta forma apresenta incorreções grosseiras inviabilizando a sua utilização para as funções atrás referidas.

Os procedimentos relacionados com a caracterização de combustíveis são por norma dependentes de levantamentos de campo que se revestem de três inconvenientes: o seu custo financeiro, o dispêndio de tempo e a dificuldade de atualização. Têm sido apontadas várias metodologias para a construção de modelos de combustível, pelo que em alternativa aos levantamentos de campo, podemos ter metodologias baseadas em dados da deteção remota, ou imagens de satélite.

Os objetivos do planeamento são quase exclusivamente orientados para a redução do perigo de incêndio. Modelos de comportamento do fogo e simuladores de propagação espacial do fogo são uma componente essencial no processo de decisão. Permitem uma análise à escala da paisagem, para determinar os locais mais eficazes e arranjo espacial dos tratamentos, com base na topografia, cartografia e características dos combustíveis.

Na gestão de combustíveis o que se pretende é produzir alterações no comportamento do fogo de forma a possibilitar um combate aos incêndios efetivo e em condições de segurança, refletindo-se numa diminuição da dimensão da área ardida. Não é previsível que as alterações no combustível detenham por si a propagação de um incêndio, mas podem diminuir o impacto do fogo nas áreas tratadas, aumentando a resiliência dos povoamentos florestais ao fogo.

A crescente procura de ferramentas de simulação com integração das variáveis do meio: climatológicas, ecológicas, florestais e topográficas, por parte das administrações, empresas e organismos responsáveis pelos trabalhos de prevenção e/ou extinção de incêndios florestais, implica um aumento no conhecimento, adaptação e uso de produtos referenciados espacialmente para a tomada de decisões. As capacidades operacionais que disponibilizam uma boa informação de partida (“inputs”), convertem estas ferramentas em suportes de verdadeira utilidade futura nos programas de defesa contra incêndios florestais (Rodríguez et al., 2010).

Além, existem outros fatores a ter em conta de acordo com a finalidade pretendida.

Estes fatores são em primeiro lugar, os inputs (mapas digitais e parâmetros numéricos descritivos) com que podemos, quer criar modelos de combustíveis em função da quantidade e tipo de combustível, quer gerar uma paisagem particular a partir de dados empíricos. Em segundo lugar os outputs, pois todos os sistemas geram mapas de perímetros de fogo determinado a partir da área.

Nos últimos anos, os simuladores de propagação dos incêndios florestais têm-se tornado cada vez mais um instrumento para a tomada de decisões dos gestores florestais (Finney, 2003; Rodríguez e Silva, 2003).

As características do terreno têm uma grande influência no comportamento do fogo. Mesmo que seja a mais constante das três componentes, tem um grande impacto nos outros fatores. Nomeadamente a configuração, exposição e declive do terreno afetam o comportamento do fogo de forma importante.

A configuração ou relevo condiciona o clima, e tem uma grande influência nos regimes de vento que vão incidir na direção e velocidade de propagação do fogo. Influência no clima em geral e, portanto, a disponibilidade de combustível. A precipitação tende a aumentar e a temperatura a diminuir com a altitude o que torna a época de incêndio mais curta. A

exposição do terreno diz respeito ao ângulo de incidência dos raios solares e tem um importante efeito sobre a temperatura e a humidade relativa, influenciando assim no desenvolvimento da vegetação e a humidade dos combustíveis. O declive é o fator topográfico que tem maior importância no comportamento do fogo, dado que influencia nas formas de transmissão do calor (convexão e radiação).

Com o objetivo da estimação do comportamento do fogo mais provável num lugar e num momento específico, e assim planificar as ações preventivas dos incêndios e a extinção dos mesmos, criaram-se os modelos de combustível. Tudo isto a partir da sintetização sistemática desta informação mediante “modelos”. Por isso, um modelo de combustível é uma descrição estilizada, simplificada, de um combustível, para uso num modelo matemático de comportamento do fogo.

O tipo de combustível presente no terreno é um dos fatores mais influentes no comportamento do fogo, sendo a sua classificação essencial para a identificação do risco de incêndio (Lopez, 2002).

O combustível florestal é toda a matéria de origem vegetal que pode arder permitindo a propagação do fogo através da floresta. Especificando, são as árvores, arbustos, matos ou vegetação herbácea, tanto vivos como mortos, e também os fragmentos dos mesmos, que se encontram em diferente estado de decomposição (Ruiz, 2004).

Pode ser mais quantitativa, recorrendo a modelos matemáticos e a cenários meteorológicos, ou ser mais qualitativa e subjetiva, baseada na opinião de especialistas. Para uma descrição mais simplificada das características dos combustíveis, a vegetação agrupa-se em tipos ou modelos de combustíveis que partilham características similares quanto ao comportamento do fogo.

Os sistemas de simulação do comportamento do fogo são aplicações informáticas capacitadas para proporcionar informação sobre a simulação do perímetro do fogo e as principais características relacionadas com a propagação e comportamento do fogo; disponibilizando tabelas e gráficos para uma melhor representação dos mais usuais parâmetros do fogo (Salis, 2007).

Neste sentido a floresta e todo o meio envolvente, são dos bens mais preciosos que o Homem tem ao seu dispor.

Por esse motivo é necessário protegê-los, utilizando todos os meios ao seu alcance, no sentido de diminuir a ocorrência de incêndios incontrolláveis que são um dos principais inimigos destes ecossistemas. O uso das ferramentas computadorizadas, aliado à cooperação entre diversas entidades envolvidas na prevenção/combate aos fogos e gestão de áreas florestais e naturais, é essencial para que se consiga alcançar esse objetivo.

### **2.3 – Desenvolvimento e aplicação do modelo farsite**

O Farsite é um modelo que permite o estudo integrado de um incêndio florestal e o melhor planeamento de um fogo, podendo auxiliar no processo de tomada de decisão em ações de combate a fogos e situações de emergência. Abre, também, a possibilidade de criação de cenários de fogos florestais, perto de zonas urbanas e estruturas várias, que permitem a previsão das condições meteorológicas e da área ardida, em que será necessário recorrer a medidas de evacuação ou corte de estradas, de modo a garantir a segurança das populações afetadas.

O programa Farsite4 (Fire Area Simulator) é um modelo determinístico bidimensional capaz de simular o comportamento e progressão de fogo no espaço e no tempo, para diferentes condições de terreno, combustível e meteorologia, podendo ser aplicado em longos intervalos de tempo (Finney, 1998). Integra os diversos modelos teóricos de progressão de fogo e os consequentes padrões espaciais de comportamento do fogo, através de uma interface gráfica.

O Farsite4 incorpora os seguintes módulos: modelo de progressão de fogo superficial (Rothermel, 1972); modelo de progressão de fogo de copas (Van Wagner, 1993), modelo de projeção (Albini, 1979), modelo de progressão de um foco pontual (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992) e modelo de combustível (Nelson, 2000) (Stratton, 2006).

Na Europa, Arca et al. (2006), avaliaram a capacidade do Farsite4 na previsão correta do comportamento do fogo na região mediterrânica e concluíram que globalmente este modelo é capaz de reproduzir o desenvolvimento dos fogos nesta região, denotando apenas algumas fragilidades relacionadas com a produção de perímetros de fogo e velocidade de progressão irreais quando aplicados os modelos de combustíveis standard. Neste sentido, Arca et al. (2006), denotam que a correta calibração e validação é muito importante sobretudo na



escolha do tipo de combustível e poderia conduzir ao desenvolvimento de modelos de combustível locais. De igual modo, Halada et al. (2006) reconheceram a aplicabilidade do modelo Farsite4 na modelação do comportamento do fogo na Europa Central, encontrando também limitações ao uso dos modelos de combustível standard (Northern Forest Fire Laboratory) e ainda algumas limitações relacionadas com a topografia complexa que o modelo não consegue reproduzir.

Em Portugal, têm sido desenvolvidas aplicações com o modelo Farsite, principalmente, para avaliação de técnicas de gestão do combustível florestal. Alguns autores têm desenvolvido estudos neste âmbito com recurso ao Farsite4 tendo constatado que a sua aplicabilidade é adequada no contexto da gestão florestal atual.

Para o funcionamento do software utilizam-se as variáveis de combustível, meteorologia e topografia para simular o comportamento de fogo (Finney, 1998). Assim, como resultado da simulação, o modelo desenvolve um mapa com a representação da evolução do perímetro de fogo ao longo do tempo e do dia selecionado.

Os dados necessários para a aplicação do Farsite4 são essencialmente dados de topografia, vegetação e meteorológicos. Estes fazem parte da informação obrigatória embora o simulado Farsite também pode incorporar informação opcional.

A estrutura base de uma simulação em Farsite4 é ilustrada na seguinte figura:

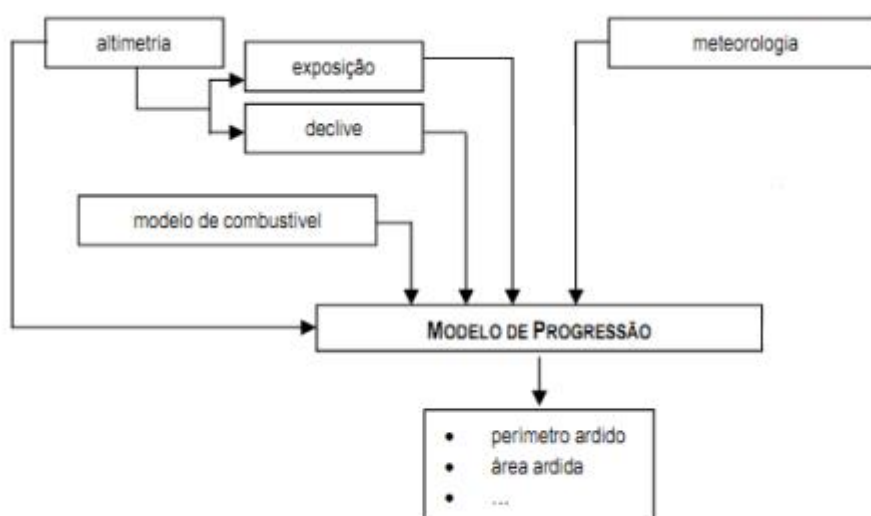


Figura 2 - Identificação das variáveis de entrada e saída do modelo de progressão Farsite

A informação acerca da topografia e combustível é obtida através de ficheiros raster. A informação geográfica raster necessária é a seguinte: altimetria; declive; exposição; modelo de combustível; cobertura vegetal e ainda, opcionalmente, altura da copa; altura da base da copa; densidade da copa. A informação raster pode ser tratada num sistema de informação geográfica para obtenção dos ficheiros Ascii para entrada no modelo. Para aplicação do modelo Farsite4 é necessário fazer a transposição dos modelos de combustíveis do território americano para o combustível associado ao território nacional.

Tabela 1 - Identificação de algumas das variáveis necessárias para aplicação do modelo Farsite (adaptado de Finney, 1998)

Ficheiro raster	Unidades	Objetivo
<b>Elevação</b>	Metro	Ajuste adiabático da temperatura e humidade do ficheiro meteorológico.
<b>Declive</b>	Percentagem	Estimativa dos efeitos diretos da propagação de fogo; determinação do ângulo de incidência da radiação solar (considera o ficheiro exposição); transformação da velocidade e direção de propagação superficiais para coordenadas horizontais.
<b>Exposição</b>	Grau	Determinação do ângulo de incidência da radiação solar.
<b>Modelo de Combustível</b>		Descrição do combustível de superfície para determinação do comportamento do fogo superficial.
<b>Cobertura Vegetal</b>	Percentagem	Determinação do efeito da sombra das copas no terreno que condiciona os cálculos da humidade do combustível.

A altitude é um dos ficheiros exigidos para qualquer simulação, com as unidades em metros. Este tema é necessário para o ajuste adiabático da temperatura e da humidade e para a conversão da propagação do fogo entre as distâncias horizontal e de declive.

O declive também é um dos ficheiros exigidos, com as unidades em graus inteiros ou percentagem de inclinação horizontal. O declive é necessário para calcular os efeitos do relevo na propagação do fogo e na radiação solar. O declive pode obter-se através da altimetria.

A exposição é mais um dos ficheiros necessários e corresponde à determinação do ângulo de incidência da radiação solar. Obtém-se também a partir da altimetria.

A cobertura vegetal é um ficheiro obrigatório para a simulação, sendo necessário para calcular os fatores de redução do vento e de sombra para todos os modelos de combustível. A cobertura é a percentagem horizontal da superfície do chão que é coberto

pelas copas das árvores. As unidades de cobertura podem ser em categorias (1-4) ou valores de percentagem (0-100). São assumidas categorias da seguinte maneira: categoria 1 – de 1 a 20%; categoria 2 – de 21 a 50%; categoria 3 – de 50 a 80%; categoria 4 – de 81 a 100% com a cobertura zero especificada pelos valores 0 ou 99.

O modelo de combustível é a espacialização do ficheiro de Modelo de Combustível (Fuel\_Model, extensão .FMD), que contém os modelos matemáticos para a caracterização da vegetação como material combustível. O ficheiro pode e deve ser obtido a partir da cobertura de vegetação.

O tema assume valores inteiros, entre 1 e 50, para especificar o modelo de combustível. Os valores de 1 a 13 são reservados para os modelos de combustível padrão NFFL (Northern Forest Fire Laboratory) (Anderson, 1983), sendo os valores de 14 a 50 atribuídos aos modelos personalizados. Também é possível a conversão dos 13 modelos NFFL para um padronizado, mas isso só é indicado quando exceder os 37 modelos (14 a 50). Os números dos modelos de combustível 0, 98 e 99 são usados para células sem combustível, tal como a água é representada pelo número 98 e é exibida na cor azul pelo Farsite. Os modelos de número 0 e 99 são exibidos pelo Farsite na cor cinza escuro.

Alguns temas espaciais são opcionais, o que significa que não são necessários para realizar uma simulação de incêndio na superfície. Estes temas são exigidos para calcular alguns aspetos do comportamento do fogo, como por exemplo, parâmetros do incêndio de copa e o consumo de combustível que são importantes para uma análise final. Qualquer um dos cinco temas opcionais (altura, altura da base da copa, densidade de massa da copa, perfil do lenho e serapilheira) pode ser desenvolvido usando o processo de derivação usado para o arquivo Fuel\_Model (.FMD).

A informação meteorológica é fornecida por séries temporais das variáveis mais relevantes, considerando-se uma distribuição uniforme das condições meteorológicas na área de estudo. Esta informação organiza-se em dois ficheiros: o ficheiro meteorológico e o ficheiro do vento. O ficheiro meteorológico pretende representar o padrão meteorológico diurno da área de estudo de forma a caracterizar os combustíveis mortos dessa zona. Este ficheiro é formado por séries de medições diárias de mínimos e máximos de temperatura e humidade relativa (este módulo considera que a hora a que se verifica o máximo de temperatura corresponde à hora do registo mínimo de humidade relativa) e ainda medições diárias da precipitação. O

ficheiro de vento pretende representar as variações pontuais da velocidade do vento e da direção horizontal do vento, uma vez que o modelo Farsite4 assume as componentes do vento constantes no espaço e apenas variáveis no tempo. O ficheiro deve conter valores horários da velocidade e direção do vento, mas também da cobertura nebulosa (Finney, 1998). No caso particular de um incêndio de Verão, com ausência de precipitação, pode considerar-se a não existência de cobertura nebulosa.

Assim, no Farsite, no ficheiro do combustível é necessário introduzir a humidade do combustível e os modelos de combustível.

Em relação ao ficheiro meteorológico, é necessário fornecer dados do dia e do mês em que o fogo ocorreu, bem como dados de precipitação, de temperatura máxima e mínima diária, de humidade, também máxima e mínima, e a elevação do terreno. O ficheiro referente ao vento, inclui direção e velocidade do vento e dados de nebulosidade. No final, o Farsite calcula a progressão do incêndio, para vários períodos de tempo, em condições heterogéneas de terreno, de combustível e meteorologia.

As simulações de comportamento de um potencial incêndio aproximam-se tanto mais da realidade quanto mais homogéneas e simples forem as condições envolventes. A variedade de fenómenos físicos que afetam o comportamento de um incêndio torna muito difícil quantificar a contribuição individual de cada um deles (Lopes et al, 1998). Ainda que os modelos físicos fossem corretos, a sua aplicação em situações de fogo real está largamente condicionada pela fiabilidade dos dados de entrada, nomeadamente dos combustíveis (humidade, características) e dos dados meteorológicos (direção e velocidade do vento). A utilização de alguns destes parâmetros (humidade dos combustíveis, vento) pressupõe o uso de modelos específicos de previsão para o seu cálculo, pelo que se introduz aqui mais uma fonte de incerteza (Lopes et al, 1998; Finney, 1998). Se a variação espacial dos dados de entrada é importante, também a variabilidade temporal constitui mais um fator de instabilidade introduzido. Concretamente, a frequência de atualização do vento tem influência no desenrolar das simulações. Esta atualização, que normalmente é feita em períodos de 30 ou 60 minutos, é mais importante quando se considera o número de fatores que podem induzir modificações locais no regime de vento, como o próprio fogo, os povoamentos florestais ou a topografia. Já os combustíveis e a topografia são definidos como unidades homogéneas (definidas pelo técnico), com propriedades físicas constantes. Estas

escalas são demasiado grosseiras quando comparadas com a variabilidade existente na realidade, que pode ser da ordem do segundo para a variação do vento ou do metro para a variação dos combustíveis e da topografia. Tendo em conta a escala usada podemos dizer que deve ser tomada alguma atenção na definição dos cenários ou do conjunto de condições a partir dos quais se torna possível fazer simulações.

Considera-se que as simulações tendem a reproduzir com alguma fiabilidade a realidade num espaço temporal relativamente curto – 4 a 5 horas – devido principalmente ao número bastante elevado de fatores Humanos, topográficos, climáticos ou do próprio fogo que condicionam o regime de propagação de um incêndio.

A simulação em Farsite4 permite calcular parâmetros relevantes para a caracterização do fogo, como o perímetro e área ardida, a intensidade da linha de fogo, o calor libertado por unidade de área, entre outros. Para além das simulações do fogo condicionadas apenas pelas condições meteorológicas e do terreno, o modelo possui também ferramentas de simulação que permitem simular diferentes formas de combate de incêndios: terrestres e aéreos; direto, indireto, paralelo e utilização de barreiras. É possível, pois, obter vários cenários, que permitem avaliar a eficácia de determinadas medidas de combate e fundamentar a tomada de decisão. Este modelo requer o suporte de um sistema SIG – Sistema de Informação Geográfica, que providencia a informação de topografia e combustível. Assim, pode ajudar os técnicos a determinar a taxa e direção de propagação de um incêndio e a prever quando este vai chegar a um determinado local, pois produz mapas de progressão do fogo desenhando o perímetro ao longo do tempo. Com a utilização deste modelo, a extinção de um fogo pode ser analisada para diferentes táticas de ataque terrestre e aéreo, que o Farsite tem à disposição

Os modelos de propagação do fogo têm como objetivo representar, através de simulação, o avanço da frente de fogo, utilizando um conjunto de regras ou equações que consideram variáveis relacionadas com a vegetação, topografia e condições atmosféricas. Estes modelos, aliados ao uso de recursos computacionais e sistemas de informação geográfica têm permitido um salto qualitativo no desenvolvimento de ferramentas que auxiliam a tomada de decisão com o objetivo de minimizar os impactos ecológicos e económicos causados pelo fogo (Pastor et al., 2003). Por sua vez, também a expansão do uso dos SIG e sua aplicação à análise de risco de incêndio florestal levaram à necessidade do uso de simuladores para o comportamento do fogo que produzem resultados gráficos (mapas), para posterior análise e

incorporação na cartografia de perigo de incêndio, e como ferramentas para apoiar os planos gestão florestal, na prevenção e defesa da floresta contra incêndios.

Muitos dos modelos de propagação, particularmente úteis como ferramentas de apoio à decisão, estão programados sobre sistemas de informação geográfica, de modo a aceder a informação de entrada, que se encontra em bases de dados georreferenciadas, assim como, usufruir de ferramentas de pré e pós-processamento e até de ambientes de programação.

O programa Farsite pode ser usado de três formas: para simular incêndios que ocorreram no passado, incêndios que estão a decorrer e os que podem acontecer no futuro (Finney e Andrews, 1999). No entanto, inicialmente foi desenvolvido para o apoio na administração de incêndios naturais que já ocorreram (Prescribed Natural Fires) (Finney, 1998).

As análises de incêndios passados revelam bem como a simulação reproduz os padrões do crescimento do incêndio compreendendo a sua evolução comprovando os dados com a realidade ocorrida. Assim é fundamental este tipo de simulação de incêndios que já ocorreram porque permite desenvolver a confiança no software capaz de projetar o crescimento de incêndios e agir atempadamente no terreno. A simulação de incêndios em tempo real permite a compreensão do comportamento do fogo, as análises da situação do incêndio, a tomada de decisões e o planeamento das ações de combate. A simulação de incêndios futuros pode ajudar a definir as medidas mais adequadas de gestão florestal, estabelecendo as zonas de controlo do fogo (e de tratamentos do combustível) e os períodos mais indicados para realizar queimadas. Além disso, a simulação de possíveis incêndios pode simular a extensão e os prováveis danos do fogo.

O Farsite tem muitas qualidades como programa de simulação do comportamento do incêndio. É um programa fácil de criar e editar os dados de entrada do sistema (cada arquivo possui um Editor Personalizado); são produzidos vários mapas, tabelas e gráficos que permitem entender e interpretar a evolução do incêndio; e a visualização da paisagem em três dimensões é um importante instrumento de apoio das equipas de combate. Em contrapartida, os utilizadores precisam ter noções de sistemas de informação geográfica (SIGs) tanto para a elaboração dos temas matriciais como para as análises finais da simulação.

### 3 – RISCO DE INCÊNDIO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DE ESTORÃOS

#### 3.1 – Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Estorãos

##### 3.1.1 – Enquadramento geográfico

A bacia hidrográfica do Rio Estorãos, afluente do Rio Lima, localiza-se na zona NW do concelho de Ponte de Lima, distrito de Viana do Castelo (Figura 3), na zona Norte do país. Em termos administrativos, na bacia estão representadas seis freguesias: Bertandos, Sá, Estorãos, Arcos, Moreira do Lima e Cabração.

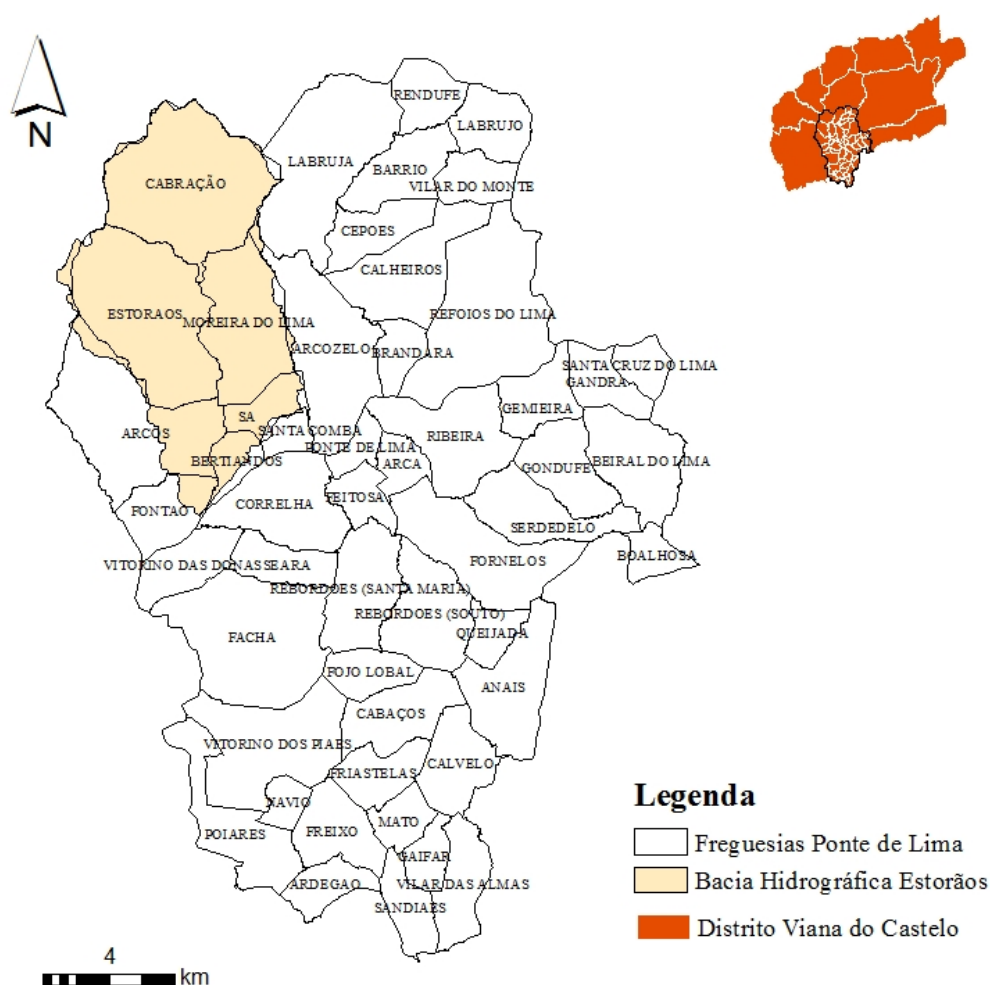


Figura 3 - Enquadramento geográfico da bacia hidrográfica do Rio Estorãos

### 3.1.2 – Caracterização biofísica

#### 3.1.2.1 – Caracterização climática

O clima da bacia hidrográfica do Rio Estorãos é temperado mediterrâneo de influência atlântica. Este tipo de clima é caracterizado pela precipitação intensa e baixas temperaturas durante o inverno, facto que é acentuado pela disposição dos principais conjuntos montanhosos do noroeste de Portugal. Pelo contrário no verão predominam as temperaturas elevadas associadas a ausência de precipitação.

É relevante destacar que principalmente a temperatura e a precipitação, mas também outros elementos climáticos, como a humidade e vento, são influenciados pelas diferenças de altitude existentes na bacia, o que tem também implicações na ocorrência ou não de incêndios florestais nas várias zonas da bacia.

A bacia regista uma temperatura média anual que varia entre os 15°C na base e os 10°C na área mais montanhosa (até 820 m). Os Verões são relativamente frescos, com valores de temperatura máxima entre os 21°C na parte mais baixa da bacia e os 16°C no topo. Os Invernos são temperados na base e frescos nos pisos superiores montanhosos. As amplitudes térmicas são relativamente pequenas, refletindo a proximidade ao oceano Atlântico, que exerce um efeito amenizador sobre as temperaturas. Com base na estação climatológica mais próxima (Ponte de Lima/Arcozelo), salienta-se ainda que o mês mais quente do ano é Agosto e o mês mais frio é Janeiro.

Tabela 2 – Dados Termoclimáticos na Bacia do Rio Estorãos

Altitude (m)	Temperatura Média anual	Temperatura média Mês mais quente	Temperatura média Mês mais frio	Amplitude Térmica
5	15,1	21,7	9,4	12,3
100	14,5	21,0	8,8	12,2
400	11,7	17,9	6,1	11,8
820	10,0	16,0	4,5	11,5

Fonte – Rodrigues (2006) in Plano de Ordenamento e Gestão da Paisagem Protegida das Lagoas de Bertandos e São Pedro de Arcos.



A bacia de Estorãos regista diferenças de precipitação de acordo com as diferenças altitudinais que a caracterizam. Na base da bacia e zona de vale mais encaixado apresenta valores de precipitação anuais entre os 1300 a 1700 mm. Enquanto, nas encostas os valores variam entre os 1700 e os 2000 mm e nas áreas superiores a 800m ultrapassam este valor (Figura 4).

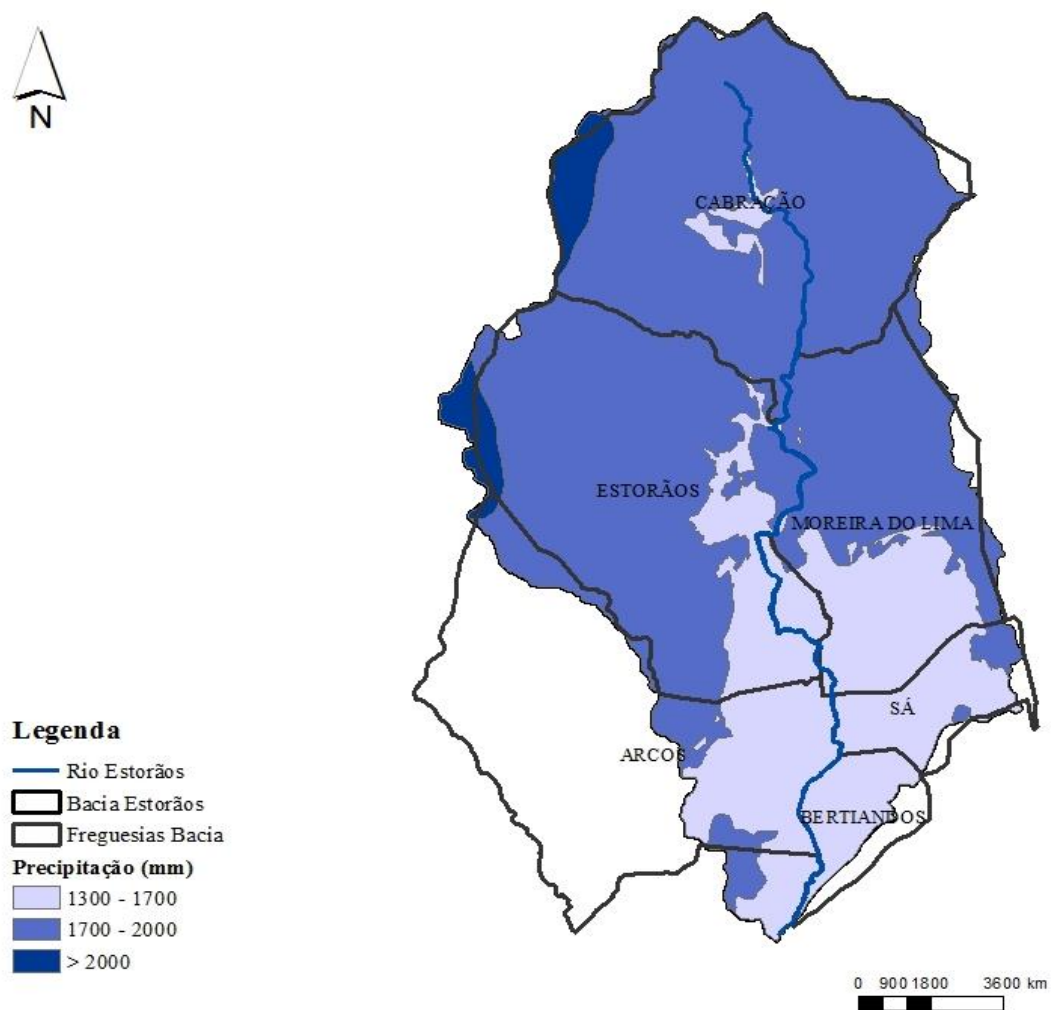


Figura 4 - Precipitação na Bacia de Estorãos

Tabela 3 - Dados pluviométricos relativos a três postos udométricos próximos da Bacia do Rio Estorãos

Posto Udométrico	Período	Altitude	P (mm)	Mch	Pmax	Ms	Pmin
Ponte de Lima	1959/60 – 1994/95	10	1667,9	Dez	234,6	Jul	25,0
Nogueira	1960/61 – 1994/95	100	2000,3	Jan	295,3	Jul	32,7
Arga de Baixo	1980/81 – 1994/95	476	2037,5	Dez	310,5	Jul	37,1

Fonte - P – Precipitação total anual; Mch – mês mais chuvoso do ano; Pmax – Precipitação total de Mch; Ms – mês mais seco do ano; Pmin – precipitação total de Ms. in Plano de Ordenamento e Gestão da Paisagem Protegida das Lagoas de Bertandos e São Pedro de Arcos.

A bacia de Estorãos não tem estações meteorológicas que permitam obter os diversos dados climáticos, pelo que os dados de precipitação foram obtidos a partir dos registos de três postos udométricos localizados na proximidade da bacia, os quais foram extrapolados em função da altitude (Rodrigues, 2006, in Plano de Ordenamento e Gestão da Paisagem Protegida das Lagoas de Bertandos e São Pedro de Arcos). Estes postos indicam que a região apresenta valores de precipitação total anual bastante elevados, com valores acima dos 2000 mm. Segundo Gomes ((2001), citado in Plano de Ordenamento e Gestão da Paisagem Protegida das Lagoas de Bertandos e São Pedro de Arcos), os valores de precipitação na bacia, com base nos três postos udométricos considerados, ponderada através do método de Thiessen, determinam um valor anual médio de cerca de 1755 mm, variando entre um valor máximo de 2532 mm e um valor mínimo de 838 mm. A distribuição ocorre de forma desigual ao longo do ano, com uma precipitação elevada no Inverno e escassa no Verão. Assim, os meses mais secos do ano são Julho e Agosto, sendo os meses mais chuvosos Dezembro, Janeiro e Fevereiro. O decréscimo das precipitações no Verão é próprio dos climas mediterrânicos proporcionando desta maneira as condições adequadas à ocorrência de incêndios florestais.

A humidade registada na bacia de Estorãos também é elevada. Na maior parte da bacia registam-se valores de humidade entre 80 a 85% e nas áreas de maior altitude registam-se valores superiores a 85% (Figura 5). Este elemento climático está relacionado com as condições naturais da própria bacia.

Esta engloba uma densa rede de linhas de água, que se associa também à proximidade da área oceânica e a elevados valores de precipitação que em conjunto com as condições fisiográficas e de vegetação proporcionam os elevados valores de humidade do ar representados.

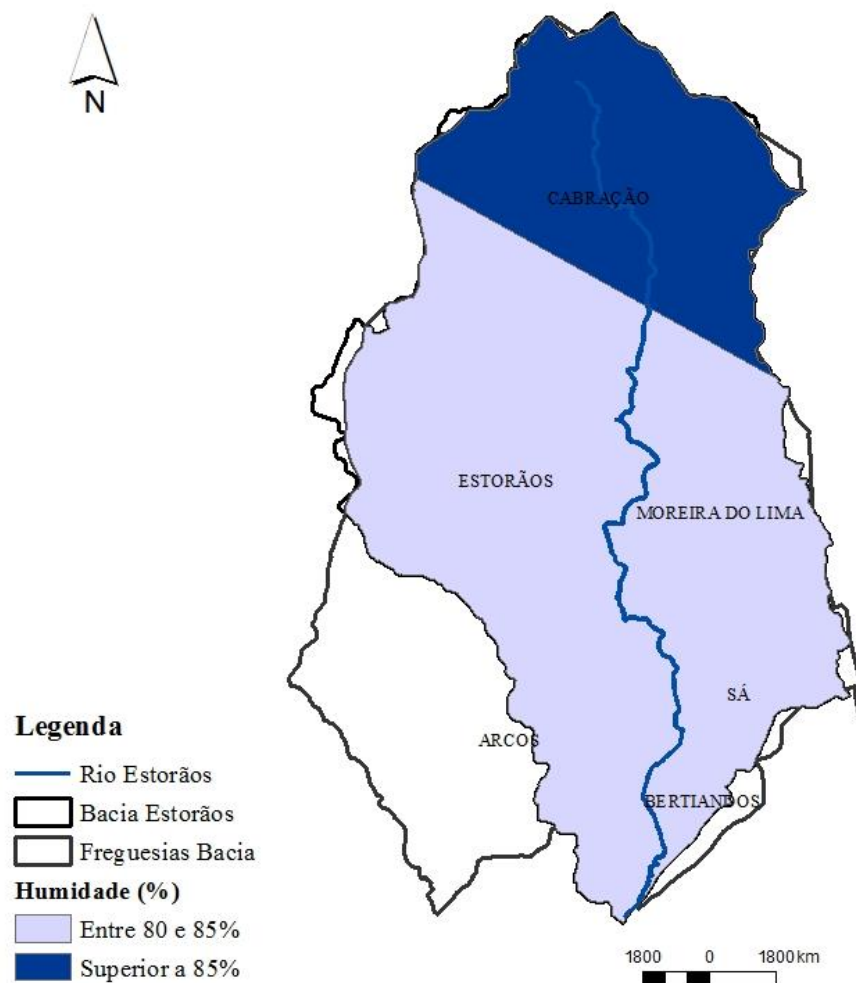


Figura 5 - Humidade na Bacia de Estorãos

### 3.1.2.2 – Caracterização hidrológica

A bacia de Estorãos apresenta uma elevada riqueza em recursos hídricos (Figura 6). Apresenta uma elevada quantidade das massas de água superficiais, seja no rio Estorãos ou nas lagoas, que se encontram no seu vale de cheia.

Toda a área da bacia é drenada por um conjunto enorme de linhas de água de primeira e segunda ordem que são canalizadas para o rio principal – Estorãos. No entanto, parte das linhas de água apresentam grande variação sazonal associada ao regime de precipitação registado ao longo do ano.

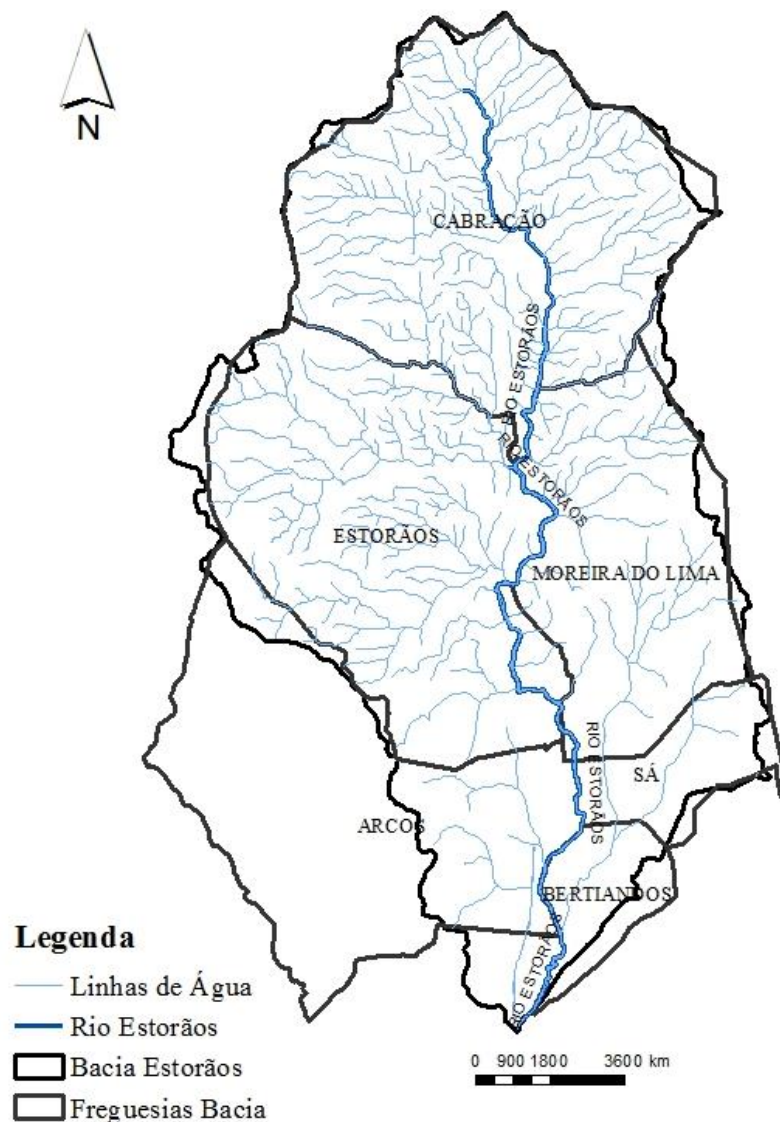


Figura 6 - Rede Hidrográfica Rio Estorãos

### 3.1.2.3 – Caracterização geomorfológica e fisiográfica

Em termos fisiográficos a bacia é delimitada pelas Serra de Arga, Cabração e na parte superior, pelo Monte de Santa Cristina. A partir dos pontos superiores, verificam-se zonas convexas pouco pronunciadas que definem o início de zonas de elevados declives e vales fechados das linhas de água temporárias, terminando no vale do Rio Estorãos que, por sua vez, se forma na parte superior da freguesia de Estorãos. Este panorama geral é interrompido pelo aparecimento de pequenas elevações que se formam no seu interior (Alonso et al., 2003a).

A bacia de Estorãos em termos de altitude apresenta áreas distintas (Figura 7 e Figura 8): uma zona de vale do Rio Estorãos que apresenta genericamente altitudes que não ultrapassam os 50 m de altitude; uma zona de meia encosta de transição de altitudes entre os 50 a 100m; uma zona de encosta onde se começam a evidenciar a maior parte das manchas florestais; e uma zona de altitude ou área de montanha com pouca presença humana, a partir dos 500 m, até ao topo da Serra de Arga.

Desta forma segundo vários autores, Barbosa (2001), Morais (2001) e Alonso et al. (2001a), são identificadas quatro áreas nesta bacia hidrográfica, de acordo com as diferenças de altitude e o tipo de ocupação associada a cada uma dessas áreas:

- i) uma zona de vale, de matriz agrícola com solos de aluvião e baixos declives (0 - 5%), altitudes inferiores a 50 m, culturas agrícolas anuais ou floresta, que apresentam uma grande estabilidade de ocupação e pequenas manchas de floresta de folhosas, em bosque ou em galeria principalmente junto às linhas de água, onde se enquadra a PPLBSPA (Paisagem Protegida das Lagoas de Bertandos e São Pedro de Arcos);
- ii) uma zona de meia encosta, de matriz urbano-rural densamente povoada, com solos de transição e solos graníticos, principalmente com altitudes entre os 50-100 m, mas que se podem prolongar para valores superiores de acordo com a implantação dos povoamentos humanos; caracteriza-se por declives de 5 a 15% e é ocupada com sistemas culturais e parcelares complexos, culturas arbóreo-arbustivas e culturas anuais de regadio;

iii) uma zona de encosta de matriz florestal, com altitudes entre os 100-400 m, com declives médios entre os 15-35% e solos predominantemente xistosos e ocupados principalmente por incultos a manchas de resinosas e povoamentos mistos folhosas/resinosas; nestes últimos anos verifica-se o aumento das áreas de eucaliptos, com um elevado índice de risco de incêndio e portanto suscetível de profundas, extensas e rápidas alterações da paisagem, mas ao mesmo tempo menor fragmentação fundiária e paisagística, onde coexistem áreas privadas individuais e coletivas (baldios);

iv) uma zona de altitude ou área de montanha com baixa carga antrópica, a partir dos 500-800 m, até ao topo da Serra de Arga com declives médios superiores a 35%, muito homogénea do ponto de vista paisagístico, ocupada com incultos onde predomina a rocha mãe à superfície e que apresenta uma elevada estabilidade de ocupação de solo.

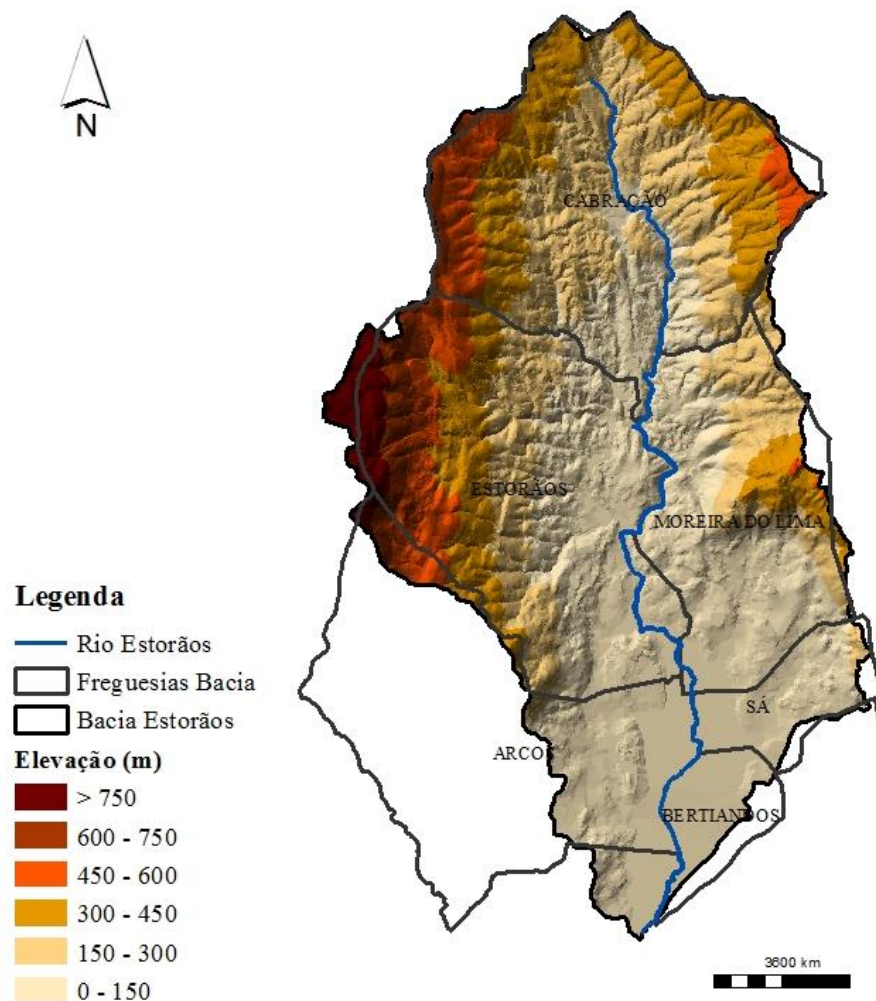


Figura 7 - Modelo Digital de Elevação da Bacia de Estorãos



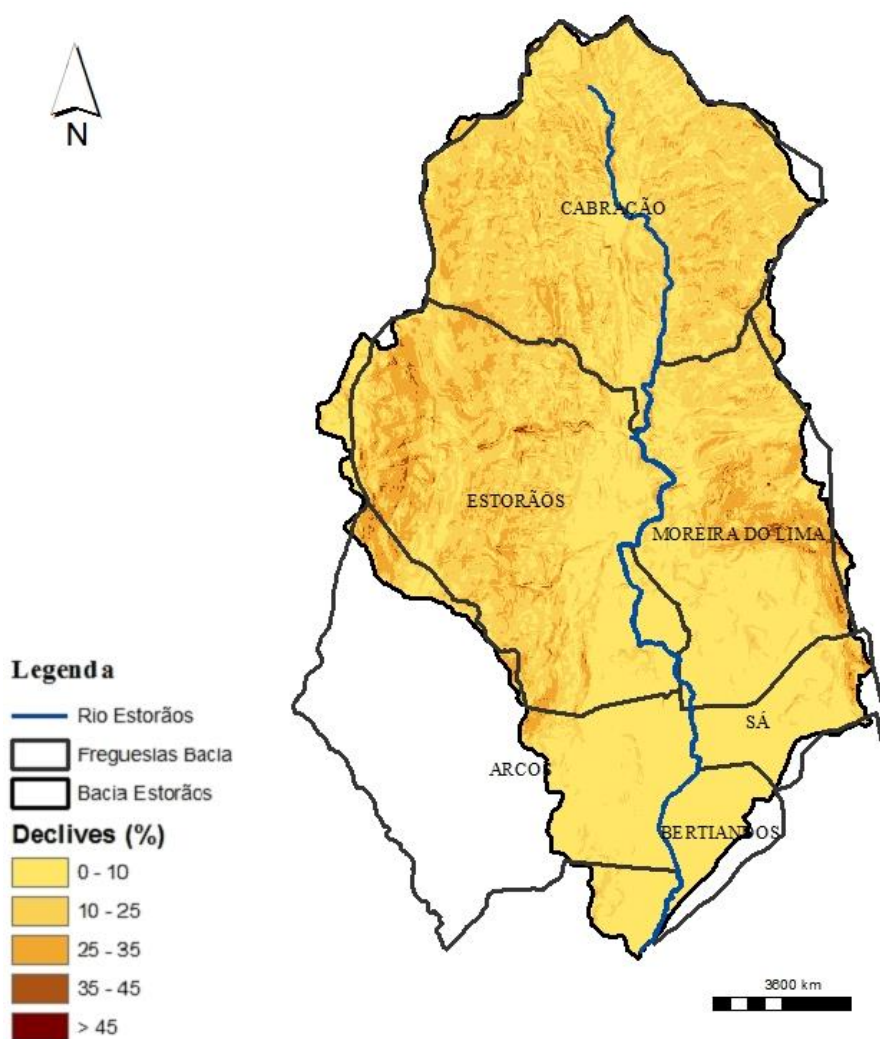


Figura 8 - Mapa de Declives da Bacia de Estorãos

A bacia hidrográfica do Rio Estorãos apresenta exposições dominantes a Este, Sul, Sudoeste e Sudeste (Figura 9) e elevada heterogeneidade espacial de condições biofísicas, decorrente da sua amplitude hipsométrica (5-800 m). Em termos gerais, o aumento da altitude correlaciona-se com o acréscimo dos declives, diminuição da profundidade do solo paralelamente a maiores amplitudes dos parâmetros climáticos e uma menor densidade demográfica. (Barbosa, 2001; Morais, 2001, in PPLBSPA). De salientar que de acordo com a encosta da margem direita ou esquerda do Rio Estorãos as exposições são diferenciadas:

encosta da margem direita exposição a este e sudeste e encosta da margem esquerda, sul, sudoeste, oeste e algumas a noroeste.

Na base da bacia do Rio Estorãos e na qual se insere a Paisagem Protegida das Lagoas de Bertiaundos e São Pedro de Arcos apresenta maioritariamente áreas planas.

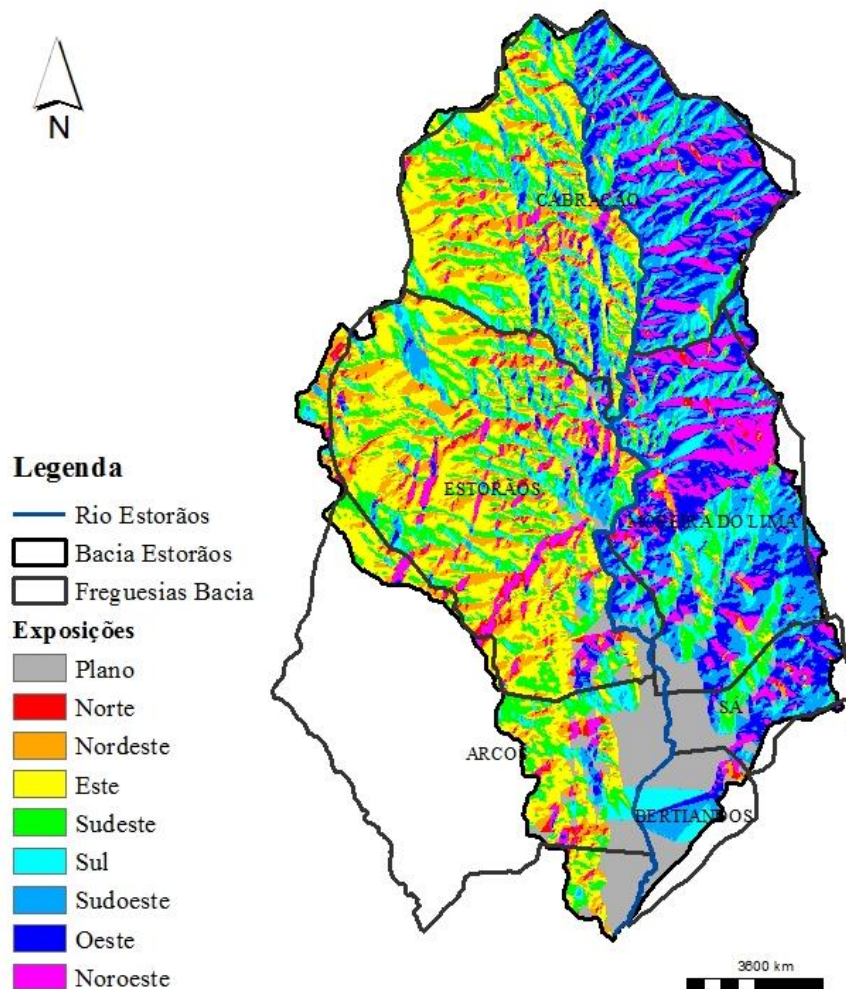


Figura 9 - Mapa de Exposições da Bacia de Estorãos



### 3.1.3. Análise das cartas de ocupação e uso do solo: 1958, 1990, 2000, 2002 e 2004

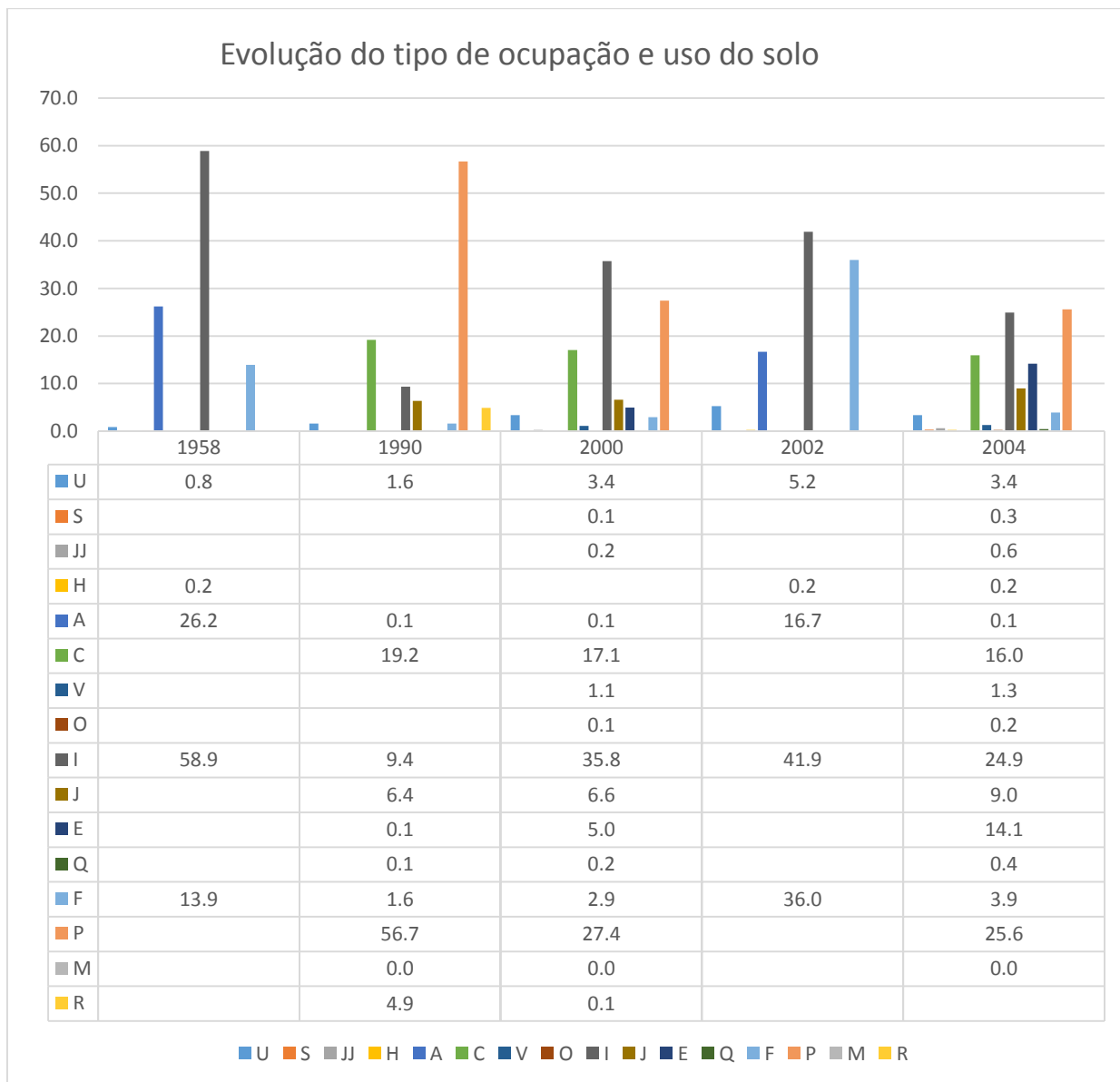
As cartas de ocupação e uso do solo refletem a evolução da organização do espaço territorial atendendo às dinâmicas demográficas e económicas existentes. No entanto, produzir uma carta de ocupação e uso do solo trata-se de uma tarefa bastante morosa e que por vezes apresenta lacunas devido às fontes de informação e à falta de validação das mesmas. Para a área de estudo bacia do Rio Estorãos, existem cartas de ocupação e uso do solo disponíveis para os anos de 1958, 1990, 2000, 2002 e 2004. No entanto, importa referir que as cartas não apresentam todas o mesmo detalhe de informação, nem todas foram elaboradas com o mesmo tipo de critérios pelo que há algumas diferenças entre elas.

Neste caso, consideramos a ocupação e uso do solo por categorias (classes e subclasses), ficando salvaguardada, desta forma, a existência de lacunas ao nível dessa mesma classificação e falta de rigor quanto a algum tipo de classe que possa estar mais evidenciada. O quadro 4 e gráfico 1, representam a evolução do tipo de ocupação existente na área da bacia do Rio Estorãos. Verifica-se desta forma que efetivamente o tipo de ocupação agrícola tem vindo a perder importância em termos de área ocupada. Em 2004 constatou-se que quase 50% da área classificada é floresta. Apesar das diferenças registadas no tipo de ocupação do solo é evidente esta alteração no território registando-se um aumento de área florestal ao longo dos anos. O grau de pormenor nas cartas aumenta à medida que se vão conhecendo novas metodologias e se tem acesso a novos instrumentos de captação, recolha e tratamento de informação pelo que é evidente uma maior especialização do tipo de classe nos anos relativamente mais recentes, bem como maior detalhe na representação de informação (ex.: há cartas de ocupação do solo que não contemplam a área das lagoas). Outro aspeto a destacar relaciona-se com a reduzida dimensão do espaço urbano, e que não tem vindo a aumentar ao longo dos tempos, o que pode ser justificado pelo facto de uma área da bacia ter sido constituída como paisagem protegida no ano de 2000.

Tabela 4 - Evolução de área (ha) e tipo de ocupação e uso do solo 1958, 1990, 2000, 2002 e 2004

Categorias de Ocupação e Uso do Solo		1958	1990	2000	2002	2004
Urbano	U	45	86	182	283	182
	S			5		15
	JJ			13		31
H2O	H	11			12	13
Agrícola	A	1413	4	6	900	8
	C		1033	919		860
	V			60		68
	O			4		13
Meios Seminaturais	I	3174	504	1927	2263	1342
	J		343	354		483
Floresta	E		8	267		762
	Q		7	9		23
	F	749	84	156	1943	209
	P		3055	1479		1379
	M					1
	R		263	8		

Gráfico 1 - Evolução de área (ha) e tipo de ocupação e uso do solo 1958, 1990, 2000, 2002 e 2004



## 3.2 – Metodologia

### 3.2.1 – Dados e recursos

A componente prática desenvolveu-se segundo uma metodologia específica de recolha, análise e preparação de informação, com recurso a sistemas de informação geográfica.

Esta fase de preparação de dados é necessária para posterior uso no software Farsite4, um simulador do comportamento do fogo.

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser entendido como um “conjunto articulado de Hardware e Software capaz de desempenhar funções diversas, nomeadamente a captura, organização, manipulação, análise, modelação e apresentação de dados espacialmente referenciados e destina-se a resolver problemas complexos de planeamento e gestão” (Raper, 1991, citado por João Machado, 1999, p. 240). Segundo alguns autores, a definição de SIG não estará completa se nela não forem integradas as bases de dados utilizadas e o contexto operacional ou organizacional em que se opera, ou seja, para além das máquinas, programas e dados, importará também considerar, os objetivos de trabalho e o grupo de pessoas que gere e utiliza o sistema (CNIG, 1992, citado por Pedro Neto).

Pela diversidade dos elementos, pela complexidade das relações que entre eles se estabelecem e, sobretudo, pelo carácter espacial de que se revestem, os estudos ambientais são uma das áreas em que os SIG's têm particular interesse, enquanto ferramenta de análise. É o caso do estudo dos riscos naturais e particularmente o risco de incêndios florestais. Com base em ferramentas SIG é possível não só manter atualizada a cartografia das áreas afetadas por acidentes e catástrofes naturais, como criar modelos prospetivos com base no cruzamento e tratamento quantitativo dos fatores intervenientes (por exemplo: relevo, geologia, uso do solo, elementos climáticos, dados demográficos, infraestruturas, para previsão do risco de movimento de materiais em vertentes, de cheias rápidas e inundação ou de incêndios florestais).

O uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para o tratamento dos dados em que se refletem estes fatores terá de ser de uso habitual para o planeamento contra os incêndios florestais. Também a teledeteção pode ser usada para conhecer a evolução do perigo em grandes áreas e avaliar o impacto do fogo.

Os programas e diferentes aplicações informáticas para as simulações dos fogos constituem um importante instrumento da gestão florestal na prevenção dos incêndios. A investigação nesta área tem como objetivo compreender o comportamento do fogo e fornecer aos decisores instrumentos que lhes permitam atuar com eficiência, estudando os efeitos dos incêndios sobre a vegetação e propondo métodos de gestão para limitar os prejuízos resultantes.

Para a elaboração do trabalho foi disponibilizada informação cartográfica de referência e temática de ordem diversa e ortofotomapas, constantes da Tabela 5

Tabela 5 - Informação base disponibilizada

<b>Tema</b>	<b>Formato</b>	<b>Escala \ Tamanho do pixel</b>	<b>Fonte</b>
<b>Limites Administrativos (freguesias, concelhos)</b>	Vetorial	1:25.000	IGP
<b>Limite PPLBSPA</b>	Vetorial	1:25.000	ESAPL
<b>Ocupação do Solo (1958, 1990, 2000, 2002, 2004)</b>	Vetorial	1:25.000	ESAPL
<b>Hidrografia</b>	Vetorial	1:25.000	IGEOE
<b>Hipsometria</b>	Vetorial	1:25.000	IGEOE
<b>Ortofotomapas (2005)</b>	Raster	0.5	IGP

O software de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) disponível e utilizado para a realização do trabalho prático foi o ArcView – ArcGis|ArcMap version 10.2, da ESRI e o software de simulação do comportamento do fogo - Farsite4.

O ArcMap é um software de SIG completo para visualização, análise, criação e gestão de dados com uma componente geográfica. Em ArcMap pode-se visualizar e ver associações de informação geográfica, assim como modelos a diferentes escalas. A maior parte dos dados tem uma componente que pode ser ligada a um lugar: uma morada, código postal, uma localização por GPS, um bloco dos censos, uma cidade, região, país, ou outra localização.

O software possibilita a visualização, exploração e análise de dados, de modo a revelar padrões, relações e tendências que não são óbvias nas bases de dados, folhas de cálculo ou pacotes estatísticos. Permite ainda a criação de mapas com diversa informação implícita, assim como resultados de análises geográficas, podendo também ser utilizado para compreender as relações existentes na informação espacial geográfica, no que concerne a tomada de decisões.

Possui uma aplicação, ArcCatalog, que permite navegar, organizar, distribuir e documentar dados geoespaciais, com uma funcionalidade dirigida para o tratamento de bases e arquivos de dados geoespaciais e os seus metadados.

A extensão ArcGIS Spatial Analyst disponibiliza ferramentas para a construção avançada e sofisticada de análises, assim como para a criação de diferentes tipos de modelos espaciais. Permite realizar ou modelar, de uma forma simples, complexas análises espaciais e contém ferramentas para criar, inquirir e analisar dados raster (matriciais) e efetuar análises integradas de dados raster com dados vetoriais.

O ArcGIS 3D Analyst permite visualizar e analisar dados de superfície de maneira efetiva. Usando o ArcGIS 3D Analyst, é possível ver uma superfície a partir de múltiplos pontos de observação, realizar consultas aos dados de superfície, criar imagens em perspetiva, sobrepondo dados vetoriais e imagens para simulação de ambientes realísticos. Com o ArcGIS 3D Analyst é possível realizar voos nestes ambientes simulados. Além disso, o software permite ainda que estes voos sejam gravados em formatos padrões de vídeo digital.

O ArcScene possibilita a visualização dos mapas, além de criar animações dinâmicas dos dados, ou seja, permite visualizar em 3D, as informações que estão a ser trabalhadas no ArcMap, inserindo as sobre ortofotomapas carregados no ArcScene, com os dados altimétricos de um Modelo Digital de Terreno.

### **3.2.2 – Fases metodológicas**

A caracterização do comportamento do fogo associado a condições ambientais específicas assume particular importância no processo de tomada de decisão em sistemas de gestão do fogo.

Os parâmetros básicos que descrevem o comportamento do fogo são a velocidade de propagação, as dimensões da chama, a intensidade da frente e a energia libertada por unidade de área.

Com os avanços científicos e tecnológicos dos últimos anos surgiram diversas “ferramentas”, nomeadamente programas informáticos, que permitem a quantificação do comportamento do fogo potencial para cenários de queima específicos.

A utilização destes modelos requer uma descrição quantitativa dos complexos de combustível, ou seja, a descrição física da formação vegetal do ponto de vista das variáveis que determinam o comportamento do fogo (exemplo: carga, poder calorífico e continuidade vertical (Cruz, M. G. 2005)).

O modelo Farsite4 permite identificar as características e comportamentos de determinado incêndio. A simulação decorre numa base temporal dinâmica onde a conjugação do relevo, da ocupação e da meteorologia ditam a propagação do incêndio à escala da paisagem (Stratton, 2004). Utiliza como inputs informação relativa aos modelos de combustíveis, meteorologia (temperatura, vento, humidade, precipitação), assim como ficheiros de fatores de ajustamento.

Este modelo requer informação geográfica de base proveniente de ambiente SIG: o modelo digital de terreno (MDT) e a ocupação e uso do solo. Os níveis de informação correspondentes à altimetria, ao declive, à exposição de encostas, derivam do MDT. O MDT foi construído a partir das cartas de curvas de nível (altimetria) em formato vetorial à escala 1/25 000 (Fonte: IGEOE).

A cartografia de ocupação e uso do solo foi objeto de análise a fim de selecionar a melhor opção para reclassificação e assim definir o modelo de combustível. As bases cartográficas de ocupação do solo: 1958, 1990, 2000, 2002 e 2004 foram reclassificadas em modelos de combustível, tendo como referência os modelos de Anderson e adaptação ao guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais da região centro. A caracterização das formações vegetais que constituem um potencial combustível florestal constitui uma tarefa essencial no processo de avaliação quantitativa do comportamento do fogo.

Tabela 6 - Reclassificação da ocupação e uso do solo em modelos de combustível

Categorias de Ocupação do Solo		Modelo de Combustível de acordo com a Classificação de Anderson e adaptado ao CEIF	Designação
Urbano	U	28	Urbano
	SL	28	
	SL	28	
	JJ	28	
H2O	H	98	Água
Agrícola	A	97	Áreas Agrícolas
	C	97	
	V	97	
	O	97	
	G	1	Pastagem
Meios Seminaturais	I	4	Matos altos
	J	6	Pinhal sem coberto
Floresta	E	7	Eucaliptos
	Q	8	Folhosas
	F	8	
	P	10	Floresta de Coníferas
	M	6	Pinhal sem coberto
	R	9	Floresta de Coníferas

A descrição da vegetação como um combustível, ou seja, como um conjunto de números utilizáveis como dados de entrada para modelos de predição do comportamento do fogo é, fundamental no processo global da gestão do fogo. Pretende-se que os modelos de combustível sejam representativos dos tipos de vegetação arbustiva e florestal que ocupam o território em análise.

A disponibilidade deste tipo de informação poderá desempenhar um papel importante na tomada de decisão em situações operacionais e de planeamento no domínio do fogo florestal, o que é especialmente relevante face à severidade da problemática dos incêndios florestais.

Os modelos de combustível são geralmente caracterizados através de descrições fisionómicas, quantitativas e qualitativas, e são acompanhados da respetiva descrição do comportamento e dificuldade do combate sob diferentes cenários meteorológicos, bem como de informação quanto à piroecologia das formações vegetais em causa.



Deste modo, foram definidos os modelos de combustível, para as cartas de ocupação do solo de 1958, 1990, 2000, 2002 e 2004 para a área da bacia do Rio Estorãos atendendo à reclassificação que consta do Quadro 6, salvaguardando que dada a inexperiência e a falta de validação do terreno, podem existir algumas lacunas na atribuição do modelo de combustível mais adequado. De referir ainda que a falta de um documento ilustrativo que adequasse os modelos de combustível utilizado pelo Farsite4 e o tipo de vegetação presente no território da bacia hidrográfica foi uma outra limitação que foi necessário ultrapassar.

As figuras seguintes representam os diferentes modelos de combustível elaborados, de acordo com a metodologia referida anteriormente.

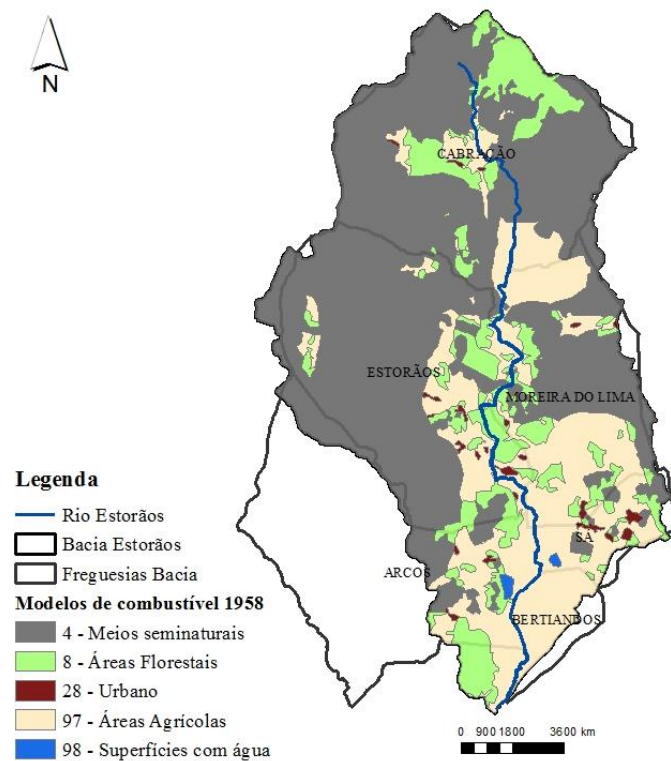


Figura 10 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 1958

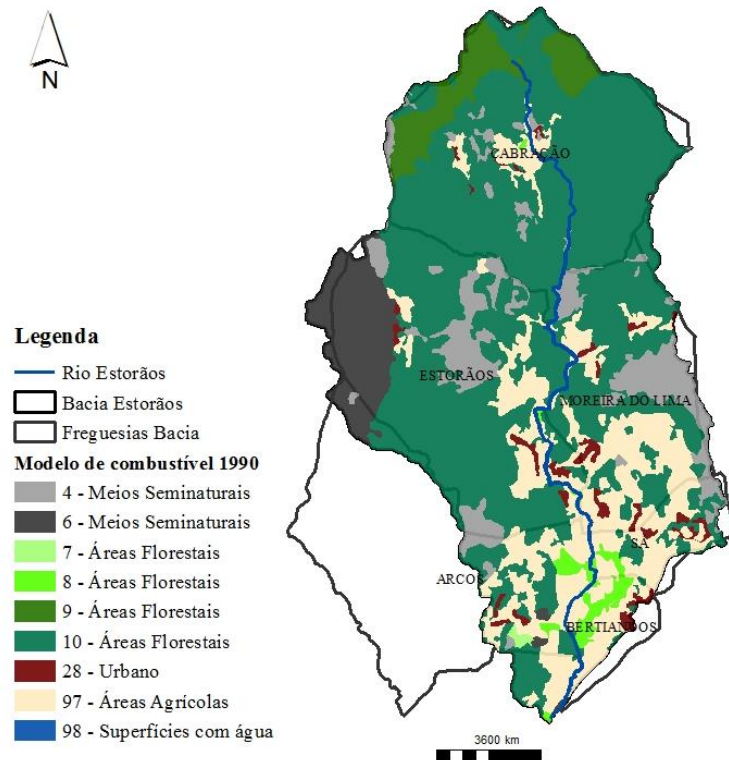


Figura 11 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 1990

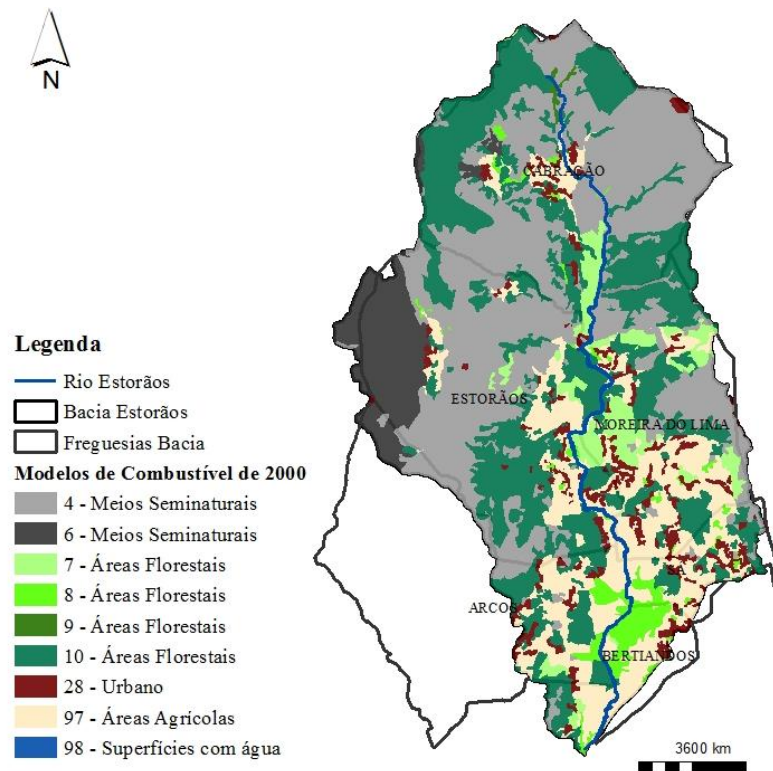


Figura 12 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 2000

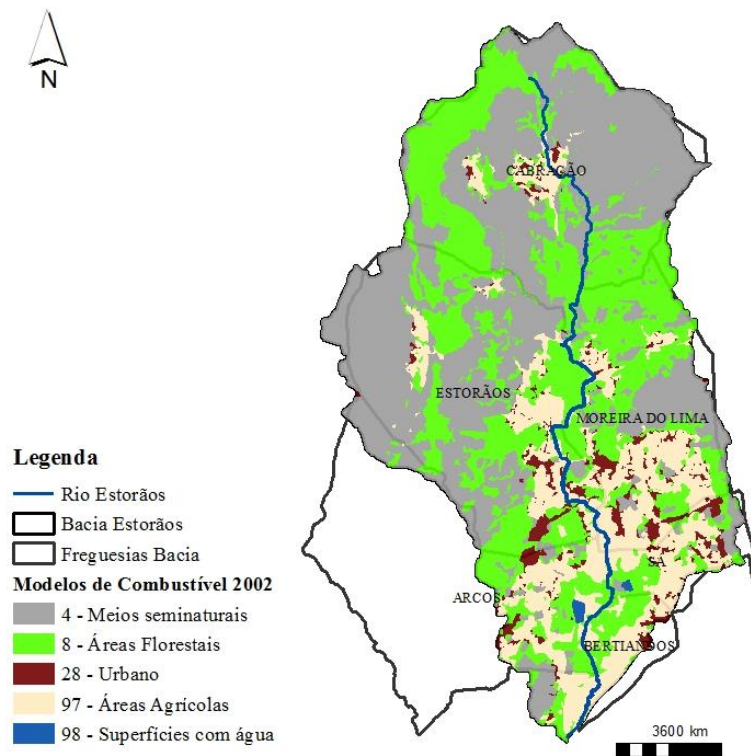


Figura 13 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 2002

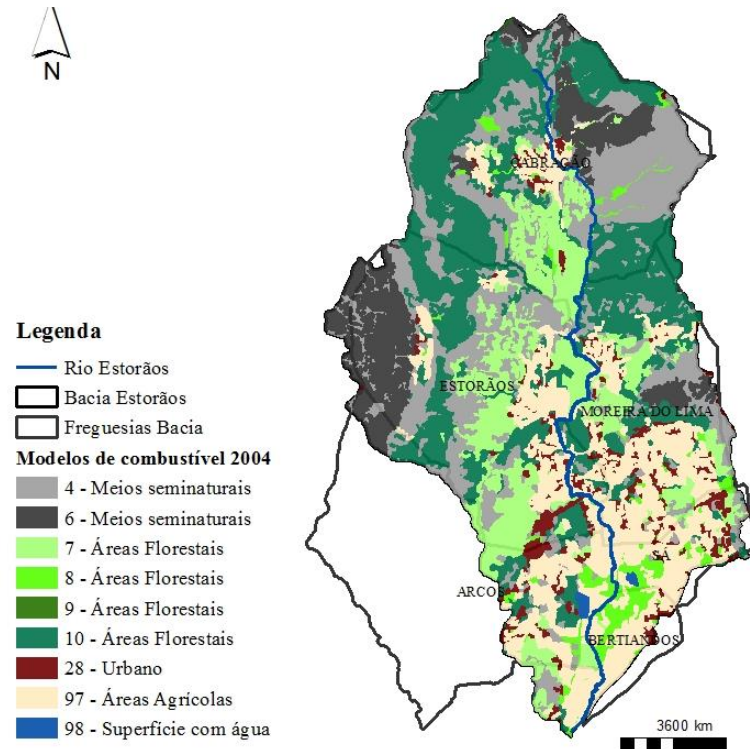


Figura 14 - Modelos de combustível, relativamente à ocupação e uso do solo 2004

As áreas florestais constantes das cartas de ocupação e uso do solo foram também reclassificadas em termos de densidade de cobertura de copa (canopy cover). O modelo de reclassificação é proposto pela metodologia do sistema Farsite4 e consiste na atribuição de um código de representação de cobertura de copas de acordo com a tipologia de ocupação do solo (Quadro 7). Esta reclassificação consiste na atribuição de uma categoria percentual ao tipo de vegetação existente de forma a definir a densidade da copa que tem grande influência no crescimento e propagação do fogo.

A informação sobre a topografia (MDT, declives e exposições) e a ocupação do solo, foi convertida a informação raster, com uma resolução espacial de 10m. Posteriormente foram convertidos para o formato ASCII para serem integrados no software Farsite.

A integração das cinco coberturas: altimetria, declive, exposição de encostas, modelos de combustíveis e densidade da copa, resulta numa estrutura raster denominada Landscape (LCP).

Além da estrutura inicial referida é necessário incorporar os ficheiros de modelo de combustível, os parâmetros meteorológicos, os ficheiros da humidade do combustível e os ficheiros de ajustamento ao modelo de forma a criar um projeto (.FPJ) (Quadro 8).

Tabela 7 - Reclassificação em termos de Canopy-cover

Canopy cover	
Categoria	%
Urbano	0
Inculto	
Água	
Improdutivo	
Vinha	10
Culturas Anuais	
Pomar	30
Pinheiro	50
Resinosas	
Eucalipto	60
Pinheiro Manso	70
Oliveira	
Folhosas	80
Carvalhos	

Tabela 8 - Arquivos ASCII necessários para a construção do arquivo de Projeto (.FPJ)

Nome	Extensão	Obrigatório/ Opcional	Observação
Clima	(.WTR)	Obrigatório	Permite até 5 arquivos ou 1 tema.
Vento	(.WND)	Obrigatório	Permite até 5 arquivos ou 1 tema.
Fatores de Ajuste	(.ADJ)	Obrigatório	Ajuste local da Taxa Propagação do Fogo. Embora exigido, este arquivo pode ser apenas 1.
Humidade Inicial do Combustível	(.FMS)	Obrigatório	Farsite precisa das humidades de pelo menos um dia antes do início da simulação
Modelos de Combustível Personalizados	(.FMD)	Obrigatório/Opcional	Para modelos de combustível diferente dos 13 modelos do padrão NFFL.
Modelo de Conversão do Combustível	(.CNV)	Obrigatório/Opcional	Converte os 13 modelos do padrão NFFL para modelo personalizados.
Período de Queima	(.BPD)	Opcional	Especifica um período de queima diário através da data do clima.
Perfil Lenhoso Grosso	(.CWD)	Opcional	

Os parâmetros meteorológicos incidem sobre a criação de um ficheiro .WTR (clima) e um ficheiro .WND (vento). O ficheiro meteorológico requer informação relativa à velocidade e direção do vento, humidade, temperatura e precipitação. Esta informação pode ser fornecida pelo instituto de meteorologia. Contudo, neste caso, apesar de haver recolha de dados climáticos, estes não foram suficientes havendo necessidade de acrescentar mais informação sobre esses parâmetros. Destaca-se que os valores acrescentados não seguiram uma metodologia específica tendo sido criados dados fictícios, para um período de 10 dias, de forma a criar um ficheiro que permitisse o funcionamento do software.

De referir também que a informação sobre os parâmetros meteorológicos pode ser retirada do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos), onde está disponível bastante informação meteorológica a nível nacional.

O arquivo do Clima (.WTR) é um arquivo texto ASCII obrigatório para qualquer simulação do Farsite. Este arquivo contém informações diárias da temperatura do ar, da precipitação e da humidade relativa do ar, descrevendo um fluxo temporal do clima. O Farsite permite entrada de tempo em unidades inglesas ou métricas. A estrutura do arquivo é a seguinte:

Month	Day	Precip	Hour1	Hour2	Temp1	Temp2	Humid1	Humid2	Elevation	Rt1	Rt2
-------	-----	--------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-----------	-----	-----

Mês: valores de 1 a 12.

Dia: valores até 31.

Precipitação: é a quantidade de precipitação diária especificada milímetros (inteiro).

Hora1: corresponde à hora na qual a temperatura mínima foi registrada (0 a 2400).

Hora2: corresponde à hora na qual a temperatura máxima foi registrada (0 a 2400).

Temperaturas: (Temp1 - mínima; Temp2 - máxima): em graus Fahrenheit ou Centígrado (inteiros).

Humidades (Humid1 - máxima; Humid2 - mínima): em percentagem, de 0 a 99 (inteiros).

Elevação: acima do nível médio do mar em pés ou metros.

Duração da precipitação: entrada com a hora (0 a 2400) do início (rt1) e do fim (rt2). Só um período de tempo por dia é permitido.

O arquivo do clima (.WTR) tem a estrutura representada na Figura 15, com as unidades selecionadas inserindo a palavra ENGLISH ou METRIC na primeira linha do arquivo.

```

METRIC
07 31 00 0000 2359 10 10 10 05 0023
08 01 00 0100 0800 20 25 10 05 0023
08 01 00 0800 1000 20 25 10 05 0023
(...)
08 02 00 1000 1200 20 25 10 05 0023
08 02 00 1200 1400 20 25 10 05 0023
08 02 00 2200 2359 20 25 10 05 0023
(...)

```

Figura 15 - Estrutura de um arquivo do clima (.WTR)



A temperatura e a humidade são interpoladas entre as horas de máxima e mínima de cada dia. Estes dados também são extrapolados para elevações diferentes na paisagem usando o tema de elevação no arquivo de Paisagem (.LCP). É possível introduzir até cinco fluxos do clima a partir de estações meteorológicas múltiplas. Esta característica permite aproximar alguma variação espacial no clima. No caso de a simulação usar diferentes estações, é necessário que haja pelo menos uma sobreposição de datas em cada arquivo. Contudo, neste caso particular não foram utilizadas.

As informações do vento devem ser fornecidas como um fluxo de dados contido num arquivo de Vento (.WND) no formato ASCII, que pode também ser gerado no software. Assim como os arquivos do clima, o Farsite permite introduzir até cinco arquivos de vento (.WND) para um determinado projeto. Isto pode ser importante para simular espacialmente ventos com diferentes direções que influenciam de forma acentuada a propagação e o crescimento do fogo. Os ventos variam frequentemente no espaço e no tempo. Assim, o Farsite, assume ventos constantes no espaço, mas variáveis no tempo para um dado fluxo de vento. Isto significa que não há nenhum efeito topográfico nos ventos. O formato de entrada dos ventos é semelhante ao arquivo do Clima (.WTR).

Todos os valores fornecidos são inteiros e devem estar em unidades inglesas ou métricas. A estrutura do arquivo é a seguinte:

Month	Day	Hour	Speed	Direction	CloudCover
-------	-----	------	-------	-----------	------------

Mês: com valores de 1 a 12.

Dia: com valores até 31.

Hora: é fornecida como 0 - 2400, para o minuto mais próximo (inteiros).

Velocidade: é fornecida a velocidade a 20 pés de altura em milhas por hora ou em 10 metros de altura em quilómetros por hora (inteiros)

Direção: é especificada em graus, à direita do norte (0-360), (inteiros). Um “-1” no campo de direção indica que os ventos estão em aclave, da mesma forma que ventos em declives podem ser especificados com um “-2”.

Cobertura de Nuvens: é especificada em percentagem, 0 a 100 (inteiros). Especificamente, os ventos de aclave e declive usam a declividade somente em pontos individuais no tema de declive do arquivo Paisagem (.LCP), não sendo influenciados por relevos complexos.

Os dados sobre vento podem estar em intervalos irregulares, contendo por exemplo, observações de vento a cada 10 minutos durante a tarde e a cada 2 horas à noite.

O arquivo do vento (.WND) tem a estrutura representada na Figura 16, com as unidades seleccionadas inserindo a palavra ENGLISH ou METRIC na primeira linha do arquivo.

```
METRIC
07 31 0000 01 180 00
08 01 0000 00 180 00
08 01 0400 00 180 00
08 01 0800 00 180 00
08 01 1200 00 180 00
(...)
08 03 1000 00 180 00
08 04 1000 00 180 00
08 05 1000 02 180 00
08 06 2000 00 180 00
08 07 1000 00 180 00
(...)
```

Figura 16 - Estrutura de um arquivo de vento (.WND)

Além dos arquivos essenciais anteriormente referidos são necessários ficheiros de arquivo que se denominam Fatores de Ajuste (.ADJ). Estes correspondem à taxa de propagação do fogo e permitem ao técnico recorrer à sua experiência ou aos dados locais para ajustar a simulação para os padrões atuais observados na propagação do fogo. Os fatores de ajuste são índices específicos para cada modelo de combustível que multiplicam a taxa de propagação, resultando uma taxa com ajuste local. Por exemplo, taxa de propagação para um determinado tipo de combustível seria reduzida pela metade com um fator de ajuste de 0,5 e para um quarto com um fator de 0,25. Semelhantemente, a taxa de propagação que usa um fator de ajuste de 2,0 seria dobrada. Mantendo os fatores de ajuste em 1,0, persiste a taxa de propagação original.

A tendência em simulações longas (temporal) ou grandes (espacial) é superestimar a predição da propagação do fogo por causa da escala temporal e espacial grossa dos dados usados para os cálculos. A taxa de propagação também pode ser subestimada por causa de erros do tipo de combustível, humidades de combustível incorretos ou ventos locais representados de forma inadequada.

A estrutura do arquivo Fator de Ajuste (.ADJ) é bastante simples, como se pode ver na Figura 17.

**Modelo de Combustível:** são os valores inteiros (de 1 a 50), definido no arquivo Fuel\_Model (.FMD) e no tema espacial de combustível. Como dito anteriormente, os modelos numéricos de 1 a 13 são restritos aos 13 modelos combustível padrões do NFFL (ANDERSON, 1982), enquanto os modelos de 14 a 50 são para modelos personalizados.

**Fator de Ajuste:** pode ser um número decimal, especificando o multiplicador de ajuste para a taxa de propagação. Deve ser maior que zero.

Fuel Model	Adjustament Factor
01	1.000
02	1.000
03	1.000
04	1.000
05	1.000
06	1.000
07	1.000
08	1.000
09	1.000
10	1.000

Figura 17 - Estrutura de um arquivo Fator de Ajuste (.ADJ), com dados fictícios

O arquivo da Humidade Inicial do Combustível (.FMS) é um arquivo texto ASCII requerido para todas simulações do Farsite. A humidade para cada tipo de combustível deve ser fixada no início da simulação. Estas humidades de combustível são exigidas para começar o processo de cálculo específico da humidade do combustível local a cada passo de tempo ao longo da simulação.

O arquivo Humidade Inicial (.FMS) tem o seguinte formato:

FuelMod	1Hour	10Hour	100Hour	LiveH	LiveW
---------	-------	--------	---------	-------	-------

Modelo de Combustível: corresponde a um modelo de combustível de 1 a 50, sendo especificado na paisagem se nenhuma conversão é usada ou no arquivo de Conversão de Combustível (.CNV) se há conversões dos 13 modelos de combustível padrão NFFL (Anderson, 1982) ou especificado no arquivo do Modelo de Combustível (.FMD) se os combustíveis são numerados de 14 a 50.

1Hora, 10 Horas, 100 Horas: preenchido com valores em percentagem da humidade para cada categoria do combustível e pode exceder a 100.

LiveH e LiveW: indicam "combustíveis vivos herbáceos" e "combustíveis vivos lenhosos" respetivamente. Diferente dos combustíveis mortos, a humidade do combustível vivo permanece constante ao longo da simulação a menos que se mude manualmente.

NOTA: Se modelos padrões forem usados, eles terão que ter as humidades de combustível iniciais também especificadas neste arquivo.

Como foi referido anteriormente, após a criação do arquivo de paisagem (.LCP) e a inserção dos arquivos do Clima (.WTR), Vento (.WND), Fatores de Ajuste (.ADJ), Humidade Inicial dos Combustíveis (.FMS) e de um arquivo do modelo de combustível (.FMD ou .CNV), todos os arquivos para a construção do arquivo de projeto (.FPJ) estão presentes.

Depois de carregar os arquivos SIG e ASCII exigidos e opcionais, é necessário gravar o projeto com a extensão .FPJ. Desta forma, sempre que realizar uma simulação, o arquivo de projeto (.FPJ) agiliza o processo de integração dos arquivos necessários. Um arquivo de Projeto contém:

- A) Os nomes de todos os arquivos de dados de entrados exigidos e opcionais para o programa
- B) Ajustes de exibição personalizados no momento em que o arquivo de projeto foi criado.
- C) O tema matricial de clima e de vento.
- D) A resolução das linhas do tema matricial (Output - Landscape Display).
- E) As coordenadas atuais (comando View/ Change View Port).
- F) Os nomes de até cinco arquivos vetores desenhados na paisagem.

### G) Mudança de cores de tema visíveis.

Os pormenores espaciais e temporal dos cálculos de comportamento de fogo executado pelo Farsite são determinados pelos Parâmetros do Modelo.

Os Parâmetros são ajustes realizados na simulação de acordo com as indicações do técnico e o objetivo da simulação. Estes parâmetros devem ser fixados antes de realizar a simulação. No caso particular de estudo os parâmetros do modelo utilizados foram os que se encontram predefinidos.

A grande vantagem do Farsite é a quantidade de mapas, tabelas e gráficos produzidos após a simulação (Tabela 9), que possibilita uma melhor análise sobre a evolução temporal e o comportamento espacial do incêndio através da paisagem

Tabela 9 - Informação produzida pelo Farsite.

Saídas do Farsite	Mapas	Tabelas	Gráficos	Unidades métricas	Unidades inglesas
Tempo de Chegada	✓			Horas	Horas
Intensidade da Frente de Fogo	✓			kW/m	BTU/ft/sec
Comprimento de Chama	✓			m	ft
Taxa de Propagação	✓			m/mim	ft/min
Energia por área	✓			kJ/m2	BTU/ft2
Intensidade de reação	✓			kW/m2	BTU/ft2/sec
Perímetro	✓	✓	✓	km	km
Direção de Propagação	✓			azimute	azimute
Atividade de Incêndio de copa	✓			1=superfície 2= passivo 3=ativo	1=superfície 2= passivo 3=ativo
Caraterísticas do Incêndio			✓		
Área do Incêndio		✓	✓	ha	ha

As informações produzidas podem ser visualizadas no Farsite ou exportadas para outros formatos e softwares de representação de informação espacial (mapas) ou de imagem (a interface gráfica da paisagem, tabelas, gráficos e mapas).

No entanto, é relevante salientar que, por vezes, as primeiras informações produzidas não correspondem ao objetivo pelo que é necessário fazer a calibração para cada simulação e assim melhorar os resultados obtidos.

O processo de calibração é necessário porque, por vezes, os dados de entrada têm erros ou incorreções que não são conhecidos até ao momento em que se realiza a simulação; existe grande variação das condições ambientais que não é capturada pela resolução grosseira dos dados de entrada; inadequação dos modelos de combustível e comportamento de fogo para refletir comportamento real do fogo.

Considerando que a progressão do incêndio é função do material combustível, da topografia e do clima, tem que se calibrar a simulação procurando os principais fatores que alteram o comportamento do fogo simulado. O modo mais apropriado para procurar fontes de erro é verificar primeiro os dados de entrada, depois os ajustes do técnico e finalmente as limitações e suposições do modelo.

### **3.2.3 – Condições de Simulação do comportamento do fogo**

A fase de preparação de informação serviu para reunir as condições para a criação de diferentes cenários de simulação do comportamento do fogo. A finalidade deste trabalho prende-se com a perceção da influência da ocupação e uso do solo no comportamento do fogo.

Deste modo, no software Farsite4, foram criados projetos com os modelos de combustível adequados a cada uma das cartas de ocupação e uso do solo, a respetiva estrutura Landscape com a informação raster convertida a ASCII, a informação meteorológica (clima e vento), bem como adotados os ficheiros de ajustamento existentes na aplicação e adaptados os ficheiros de humidade de combustível. De referir que os ficheiros diferentes em cada um dos projetos se referiam ao modelo de combustível e ao ficheiro da humidade de combustível que estava adequado às características de cada uma das cartas de ocupação e uso do solo.

A criação de um projeto para cada ano de ocupação e uso do solo permite criar simulações diferenciadas, comparar e tirar ilações sobre diferentes ocupações e uso do solo e compreender de que forma poderá ou não haver influência no comportamento do fogo.

Para a criação de cenários diferenciados foi necessário definir os parâmetros do modelo, de acordo com a frequência de registo de informação e propagação/ avanço da frente do

fogo, definir a duração do incêndio atendendo à data de início e de fim do mesmo, não esquecendo que esta duração deve estar de acordo com os dados de clima e vento previamente inseridos; e colocar um ponto de ignição do fogo, de forma a executar a simulação. A visualização da simulação pode ser faseada e pode contemplar a existência de barreiras ao fogo. Também foram criados cenários que evidenciassem este aspeto relevante numa situação real de incêndio. De referir que os vários cenários criados permitiram também perceber a evolução e propagação do fogo de acordo com o tipo de ocupação existente sem esquecer as características particulares do meio envolvente. A representação da ocorrência do fogo foi exportada em shapefile de forma a ser visualizada em softwares de informação geográfica, permitindo determinar a área ardida, o tipo de classe e categoria que mais ardeu em cada um dos diferentes tipos de ocupação e uso do solo, bem como visualizar esta informação a 3 dimensões.

#### **4 - Apresentação e Análise de resultados**

##### **4.1 - Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos considerando diferentes ocupações e uso do solo**

As condições para realizar as simulações do comportamento do fogo considerando diferentes ocupações e uso do solo foram criadas. A Figura 18 representa os diferentes projetos que foram concretizados. De referir, que foram utilizadas as mesmas cores na legenda de forma a ter uma perceção mais adequada da evolução da ocupação e uso do solo. Através da figura pode constatar-se que houve alterações no tipo de ocupação do solo, verificando-se que genericamente na base da bacia prevalecem áreas de ocupação agrícola, evidentes em várias secções do Rio Estorãos. Ao longo dos anos há variação entre maior ou menor representação de área florestal ou meios seminaturais.

No ano de 1958 a maior parte da área da bacia era constituída por meios seminaturais (ocupação arbustiva e herbácea) ou áreas agrícolas e pouca representação de área florestal (folhosas).

Em 1990 regista-se uma grande ocupação florestal na secção central e topo da bacia (principalmente pinheiro na secção central e outras resinosas no topo), grande área agrícola coincidente com a área da paisagem protegida e ausência da representação das

lagoas de Bertiaundos e São Pedro d'Arcos. No ano de 2000 houve o reconhecimento, na base da bacia, de uma área como Paisagem Protegida, verificando-se a partir deste momento e nos anos seguintes uma maior ocupação de área florestal (na maioria folhosas) nesta secção da bacia. Na secção central a área florestal é genericamente constituída por florestas de resinosas, folhosas e eucaliptos, havendo também áreas de matos altos e rasteiros. De referir que no ano de 2000, as lagoas também não aparecem representadas. No ano de 2002 verifica-se um aumento de área florestal (folhosas) na zona da paisagem protegida e na restante área predominam meios seminaturais (arbustos e herbáceas) e florestas de folhosas. Em 2004 diminui a representação de meios seminaturais e aumenta a representação de áreas florestais principalmente de eucalipto; há também alguma representação de folhosas em várias secções da bacia.

Foram criados diferentes cenários para verificar o comportamento do fogo em cada um dos diferentes anos de ocupação e uso do solo. Com esta tarefa pretende-se verificar que tipo de ocupação regista uma maior área ardida e se há ou não influência do tipo de ocupação do solo na ocorrência e propagação de um incêndio florestal considerando também diferentes condições climáticas e um determinado território. As isolinhas (a branco) representam a frente de fogo para cada intervalo de tempo definido (30 minutos), e por um período de tempo (1 ou 10 dias). A forma e direção destas isolinhas variam em função da intensidade e velocidade máxima de propagação, como combinação do efeito de vento e topografia (Richards, 1990).



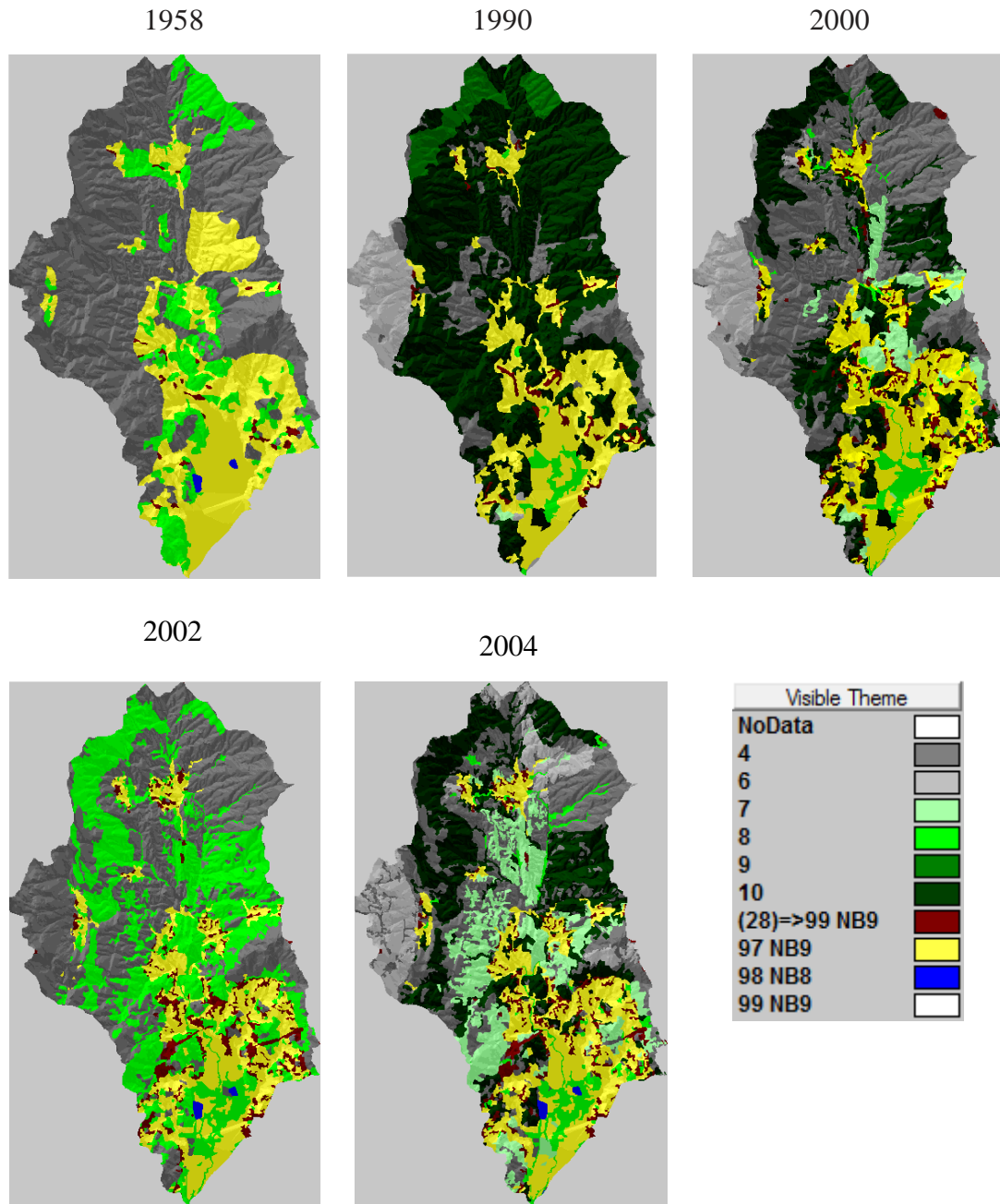


Figura 18 - Projetos do Farsite4 para os anos em estudo

#### 4.2 - Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos – Cenário 1

O Cenário 1 considera as seguintes condições: Ocorrência de um fogo com ponto de ignição aleatório na freguesia de Estorãos, no dia 5 do mês de Agosto à meia-noite de um determinado ano. As condições climáticas registadas correspondem a temperaturas médias superiores a 20°C, ausência de precipitação, baixa humidade e ventos do quadrante Sul. A simulação foi realizada para 1 dia sem condicionantes de espaço (estradas ou linhas de água).

✓ *Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo (1958)*

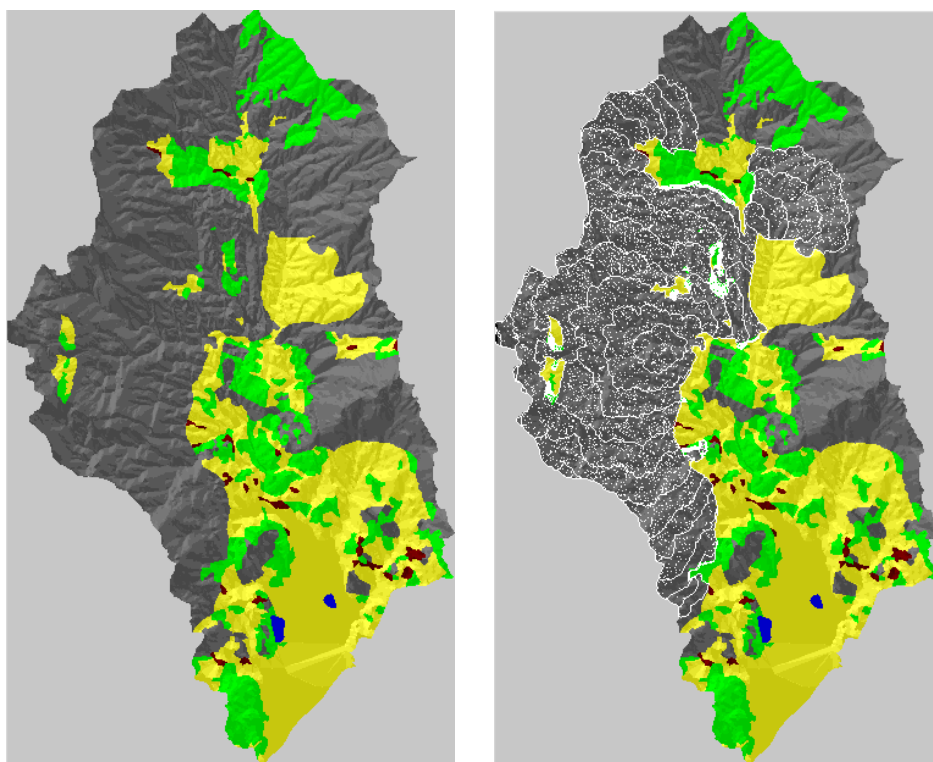


Figura 19 - Simulação do comportamento do fogo (1958)

Gráfico 2 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 1958

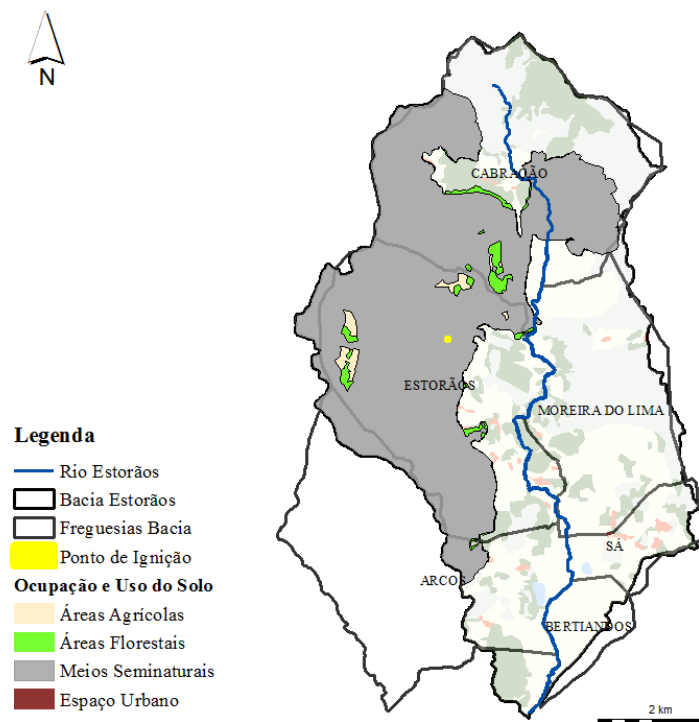
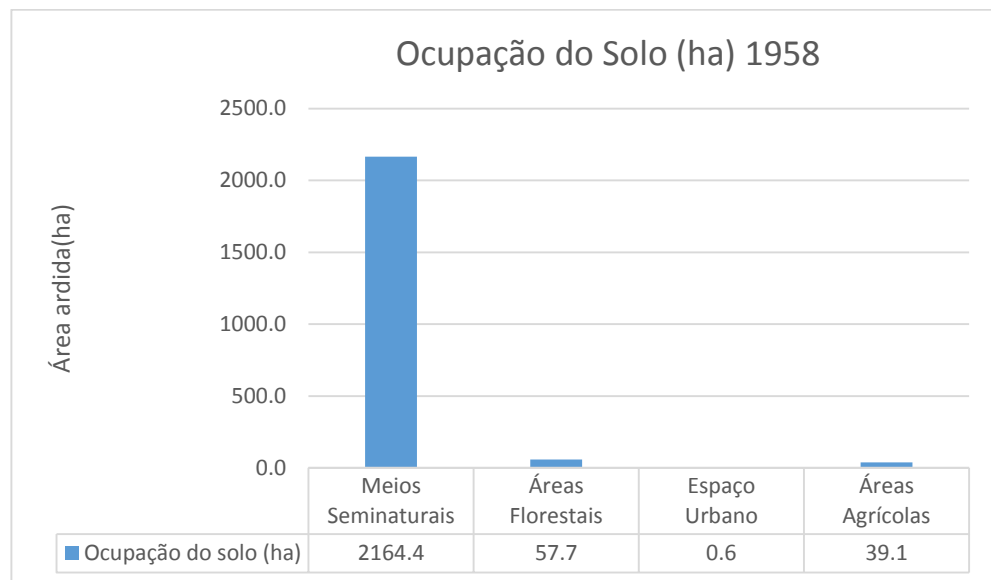


Figura 20 - Área ardida 1958

O cenário definido considera determinadas condições climáticas, de temperaturas elevadas, ausência de precipitação, baixa humidade e ventos de quadrante sul. A área de estudo, bacia de Estorãos, neste primeiro cenário não contemplou determinados aspetos de linhas de água ou caminhos e estradas que são importantes numa situação de contexto real. Analisando a figura representativa da simulação do comportamento do fogo, para um dia, utilizando a carta de ocupação e uso do solo de 1958 e os respetivos modelos de combustível verifica-se que a área ardida é extensa, embora se destaque que as áreas ocupadas por meios seminaturais (ocupação arbustiva e herbácea) sejam as mais afetadas. Se ocorresse um incêndio de acordo com as condições meteorológicas definidas e a topografia, a área total que iria arder era significativa 41,9%, (2261.8 ha), quase metade da área total da bacia. Em termos de área ardida o tipo de ocupação mais afetada corresponde ao modelo de combustível 4 (ocupação arbustiva e herbáceas), com 95,6%, seguido de 2,6% de área florestal e de 1,7% de áreas agrícolas. Em termos de afetação a freguesia de Estorãos, local de início do foco de incêndio, seria a mais afetada. Um aspeto relevante a considerar é que as áreas de ocupação agrícola evidenciam pouca probabilidade de propagação do incêndio florestal, aparecendo neste caso situações de manchas isoladas durante a ocorrência de um fogo.

Os gráficos 3 e 4 representam a evolução temporal da área ardida e do perímetro do fogo respetivamente. Num período de tempo de 24h, com um fogo a iniciar pelas 00h do dia 5 de Agosto, verifica-se que entre as 06h e as 12h o perímetro do fogo é maior bem como a velocidade de consumo de área ardida. As alterações evidenciadas no perímetro de fogo estão associadas à orografia da área da bacia e ao modelo de combustível representado.

Gráfico 3 - Área ardida 1958

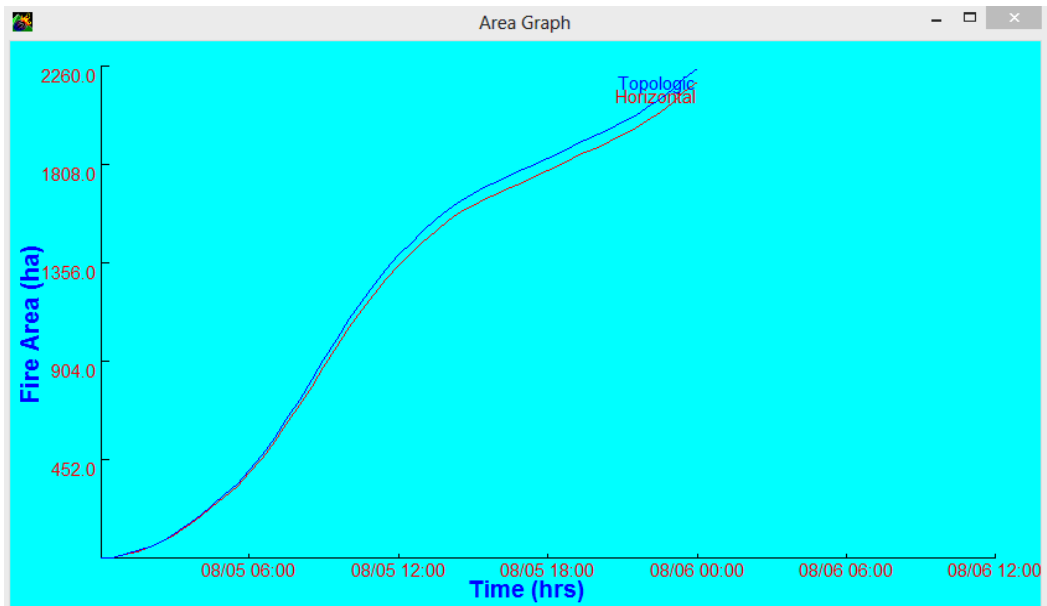
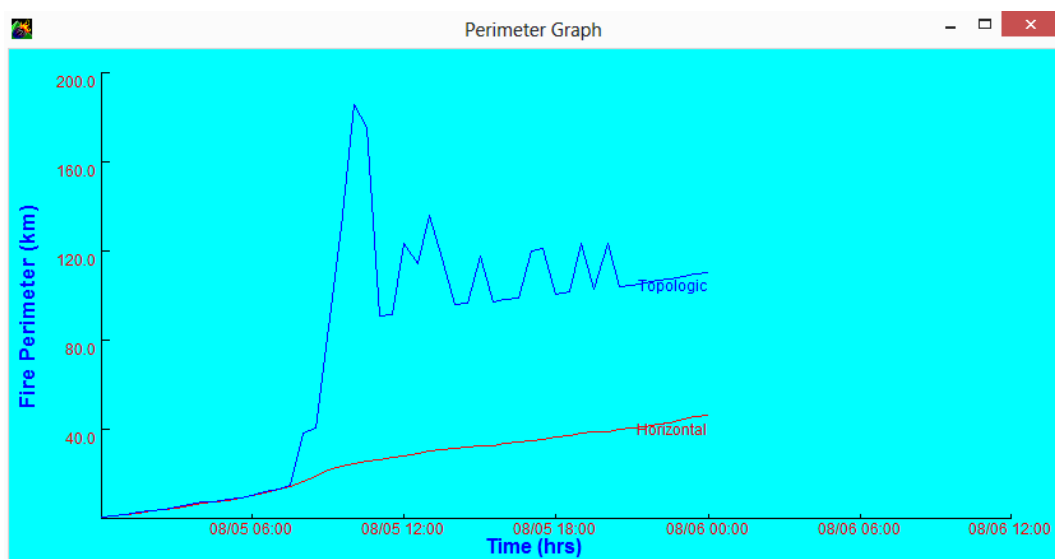


Gráfico 4 - Perímetro ardido 1958



- ✓ *Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo (1990)*

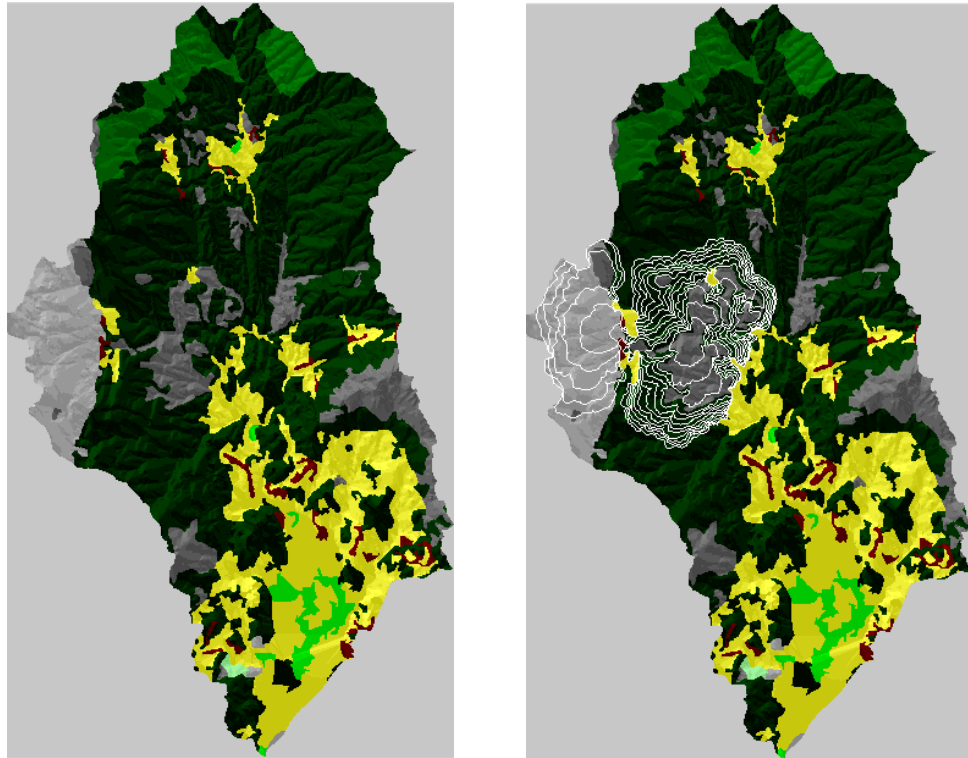
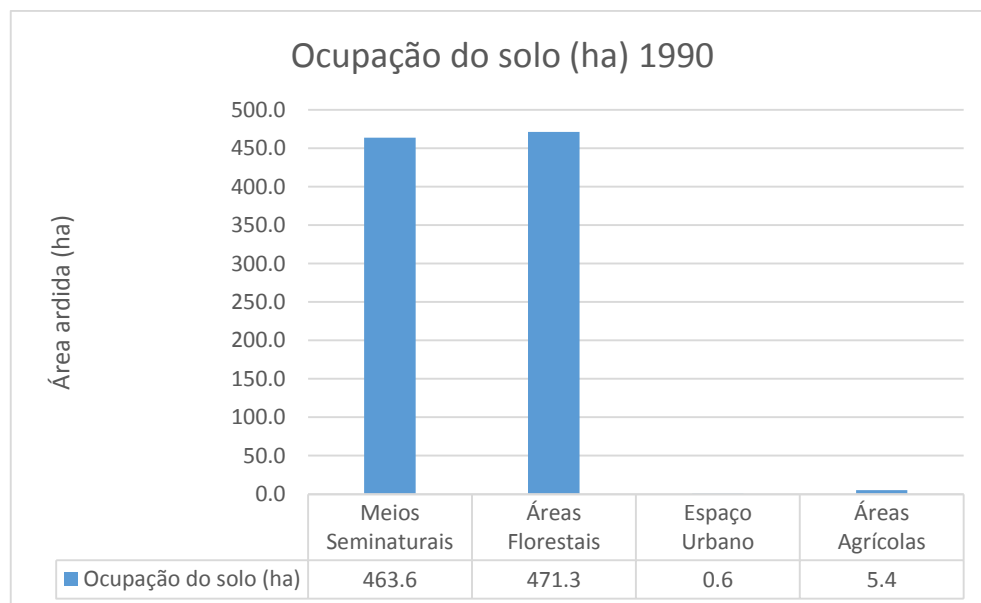


Figura 21 - Simulação do comportamento do fogo (1990)

Gráfico 5 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 1990



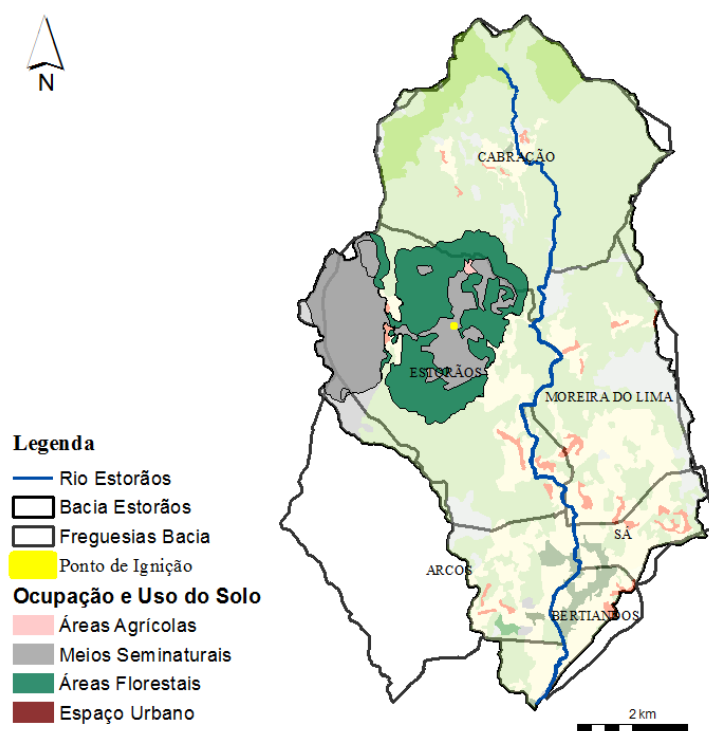


Figura 22 - Área ardida 1990

A figura 21 representa a simulação do comportamento do fogo, para um dia, utilizando a carta de ocupação e uso do solo de 1990 e os respetivos modelos de combustível verificando-se que a área ardida é mais reduzida, destacando-se um aumento considerável da extensão de área florestal ardida. Se ocorresse um incêndio de acordo com as condições meteorológicas definidas e a topografia, a área total que iria arder era 17,5% (940,9 ha), da área total da bacia. Em termos de área ardida o tipo de ocupação mais afetada corresponde a áreas florestais e ocupação arbustiva e herbáceas, com 50% e 49,3% respetivamente. A área agrícola evidencia uma área ardida muito reduzida 0,6%. Em termos de afetação a freguesia de Estorãos, local de início do foco de incêndio, seria a mais afetada.

Os gráficos 6 e 7 representam a evolução temporal da área ardida e do perímetro do fogo respetivamente. Num período de tempo de 24h, com um fogo a iniciar pelas 00h do dia 5 de Agosto, verifica-se que entre as 18h e as 23h59m o perímetro do fogo é maior bem como a velocidade de consumo de área ardida.

As alterações evidenciadas no perímetro de fogo estão associadas à orografia da área da bacia e ao modelo de combustível representado, iniciando em áreas de ocupação arbustiva ou herbácea demonstra uma propagação relativamente mais rápida, enquanto, em áreas de floresta (Pinheiro Bravo) a propagação é mais lenta tal como demonstram as isolinhas da figura 21.

Gráfico 6 - Área ardida 1990

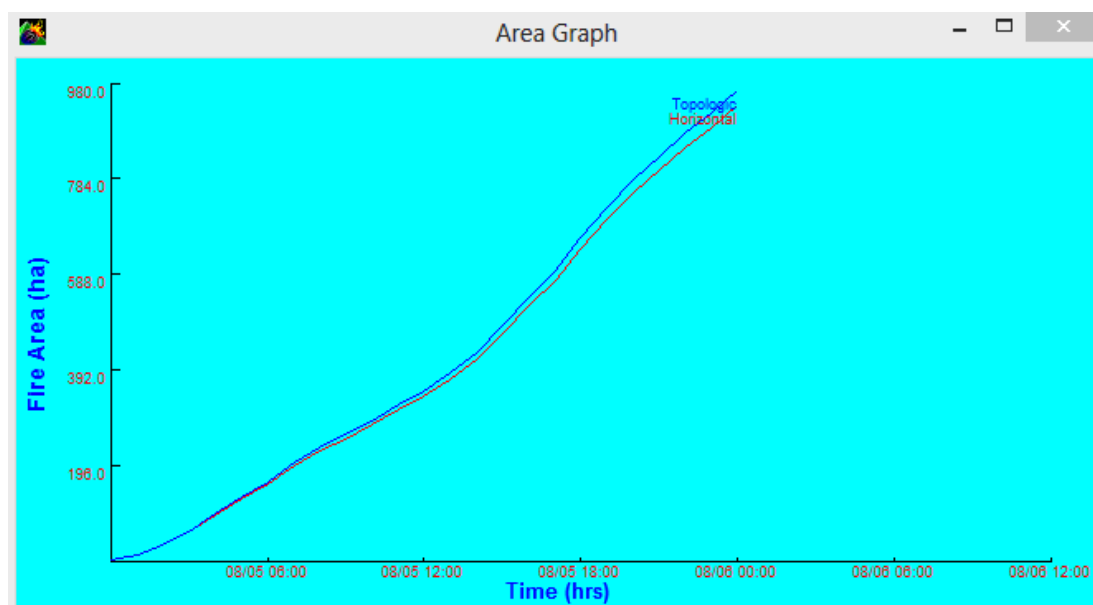
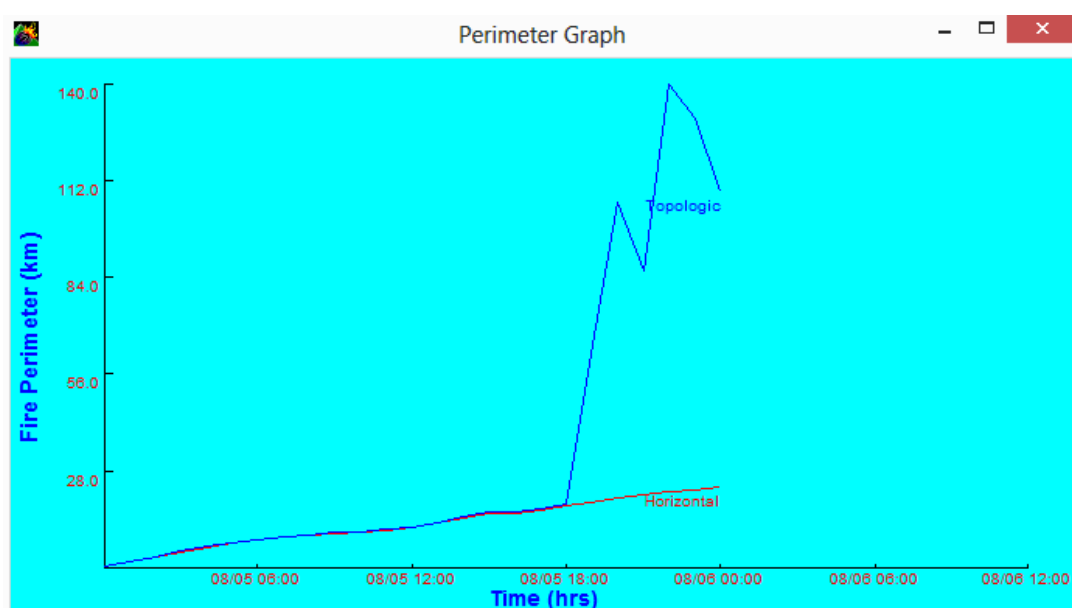


Gráfico 7 - Perímetro ardido 1990





- ✓ *Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo (2000)*

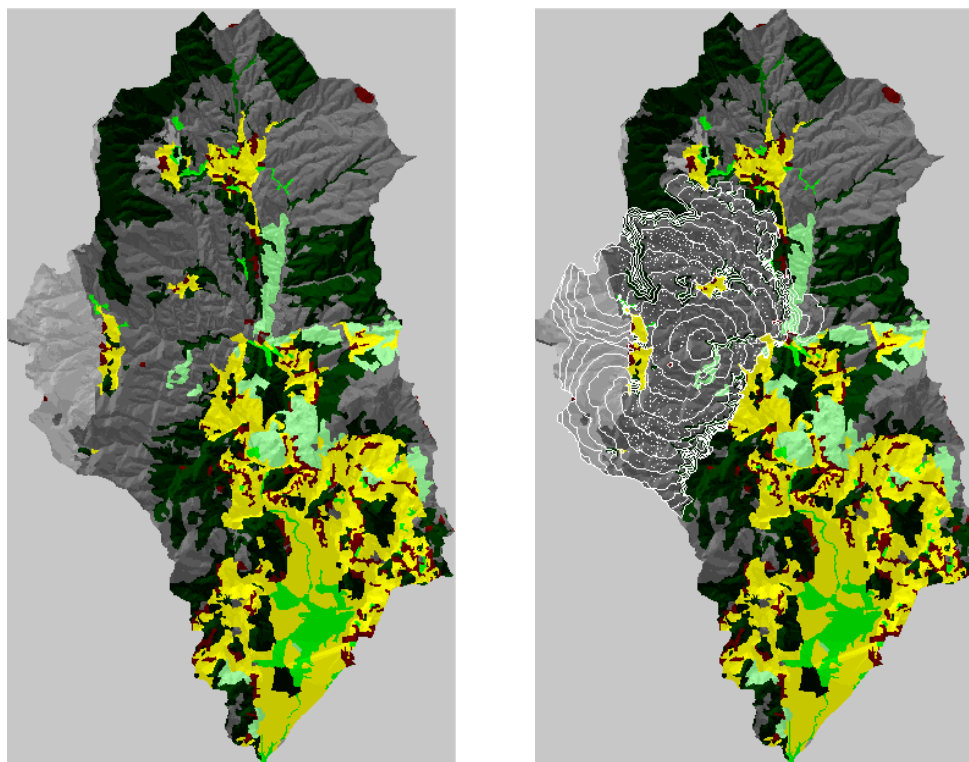
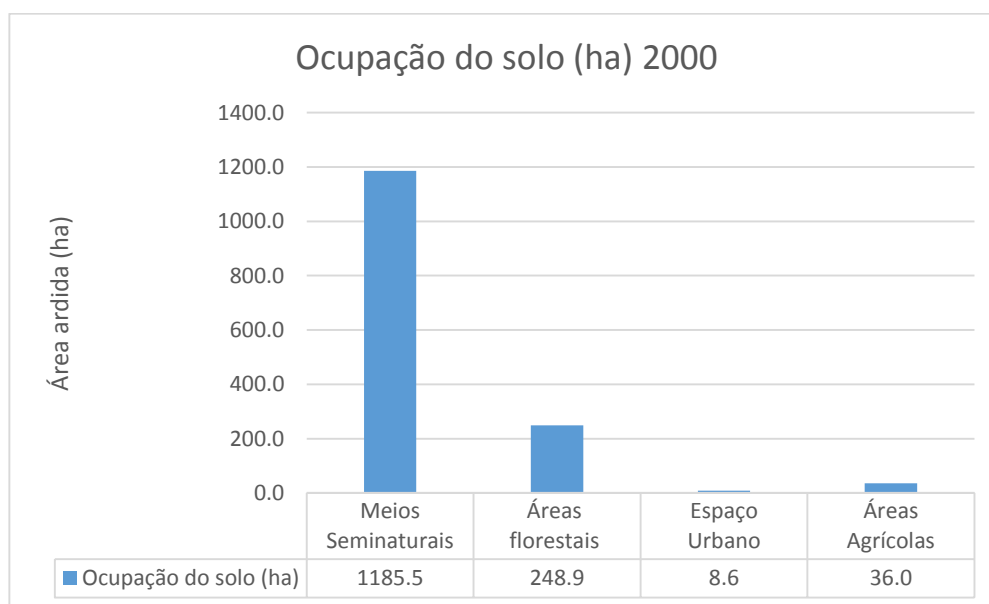


Figura 23 - Simulação do comportamento do fogo (2000)

Gráfico 8 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2000



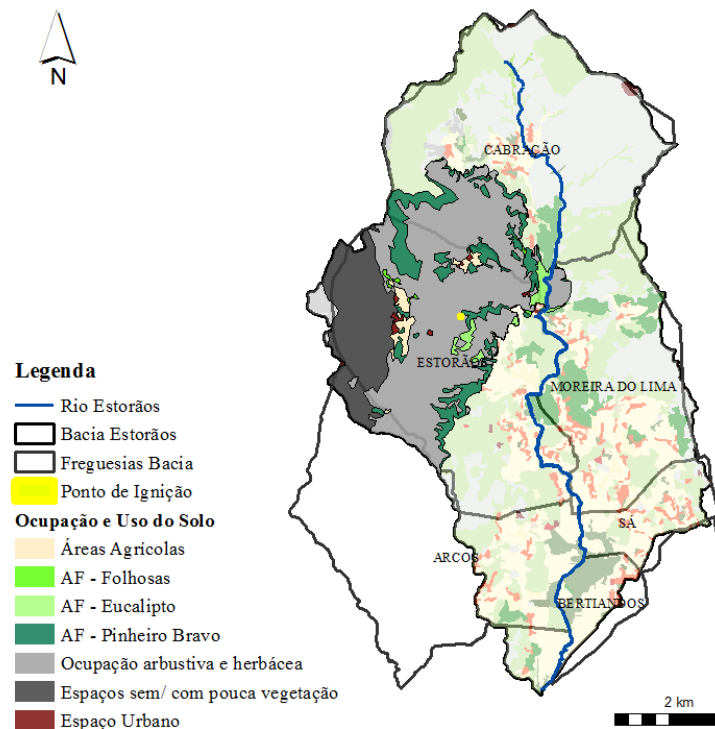


Figura 24 - Área ardida 2000

A figura 23 representa a simulação do comportamento do fogo, para um dia, utilizando a carta de ocupação e uso do solo de 2000 e os respetivos modelos de combustível verificando-se que a área ardida é superior ao ano de 1990. Nas condições de topografia e meteorologia definidas, e o mesmo ponto de ignição, 27,4% (1479ha) da área da bacia iria arder. O tipo de ocupação mais afetado seria de meios seminaturais (matos de arbustos e herbáceas; ou espaços com pouca vegetação), com 80,2%, seguido de 16,8% de área florestal (eucalipto – 13,5%; folhosas – 2,2%; e pinheiro bravo – 84,2%), e de 2,4% de área agrícola. De destacar que no âmbito da ocupação florestal a espécie mais afetada seria de pinheiro bravo com 209ha de área ardida. A freguesia de Estorãos, localidade do ponto de ignição, é a mais afetada por um fogo com estas características. Regista-se também neste caso que as áreas de ocupação agrícola evidenciam pouca probabilidade de propagação do incêndio florestal, aparecendo algumas manchas isoladas durante a ocorrência de um fogo.

Gráfico 9 - Área ardida 2000

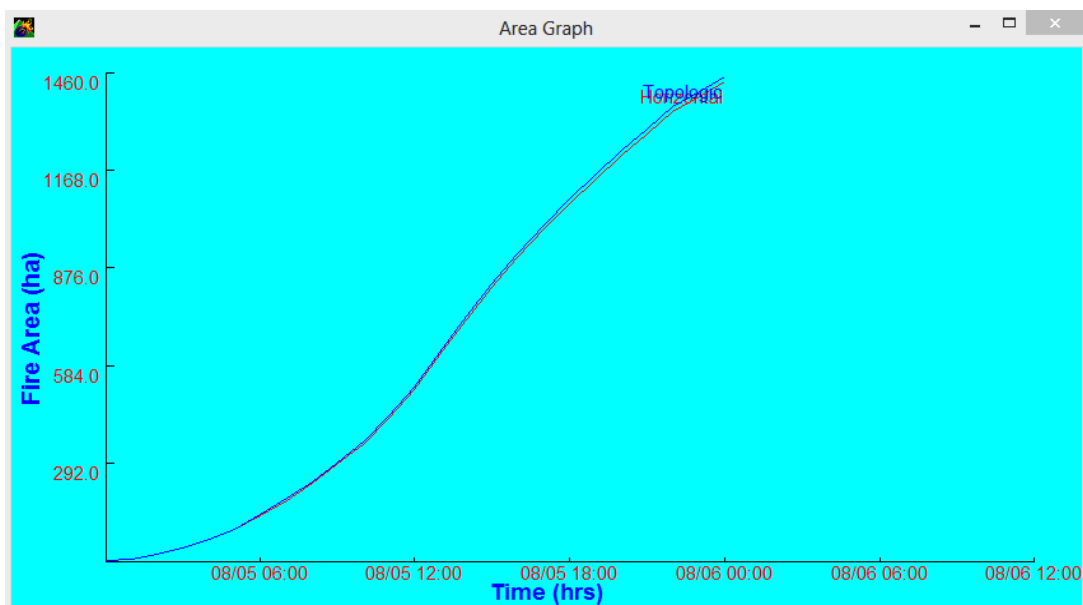
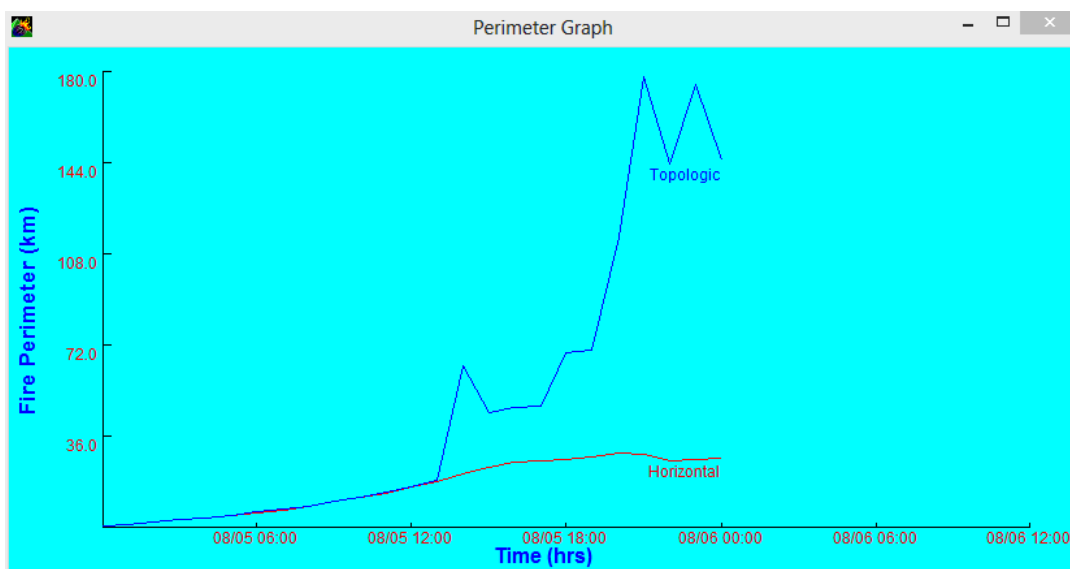


Gráfico 10 - Perímetro ardido 2000



Os gráficos 9 e 10 representam a evolução temporal da área ardida e do perímetro do fogo respetivamente. Num período de tempo de 24h, com um fogo a iniciar pelas 00h do dia 5 de Agosto, verifica-se que até às 12h o perímetro do fogo é relativamente mais reduzido.

Entre as 12h e as 18h aumenta e regista o perímetro mais alargado entre as 18h e as 23h59m. É também neste período que há maior consumo de área ardida em termos de tempo. Como já foi referido as alterações evidenciadas no perímetro de fogo estão associadas à orografia e ao modelo de combustível representado, iniciando em áreas de ocupação arbustiva ou herbácea demonstra uma propagação relativamente mais rápida, ou seja, propagação mais rápida em termos de área.

- ✓ *Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo (2002)*

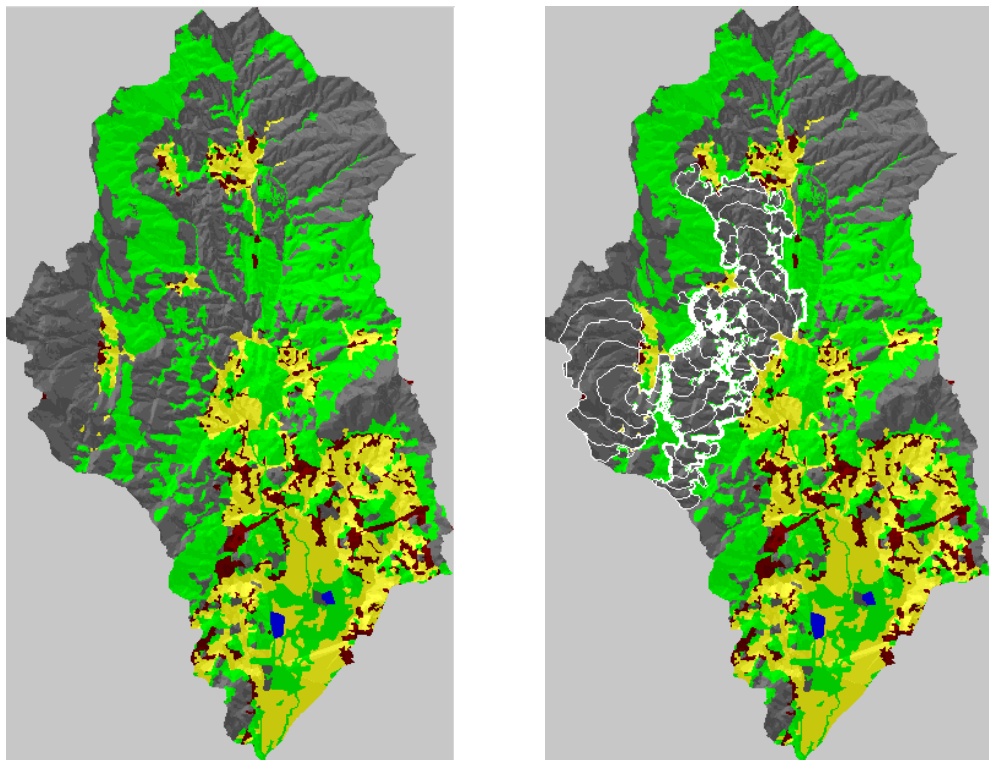


Figura 25 - Simulação do comportamento do fogo (2002)

Gráfico 11 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2002

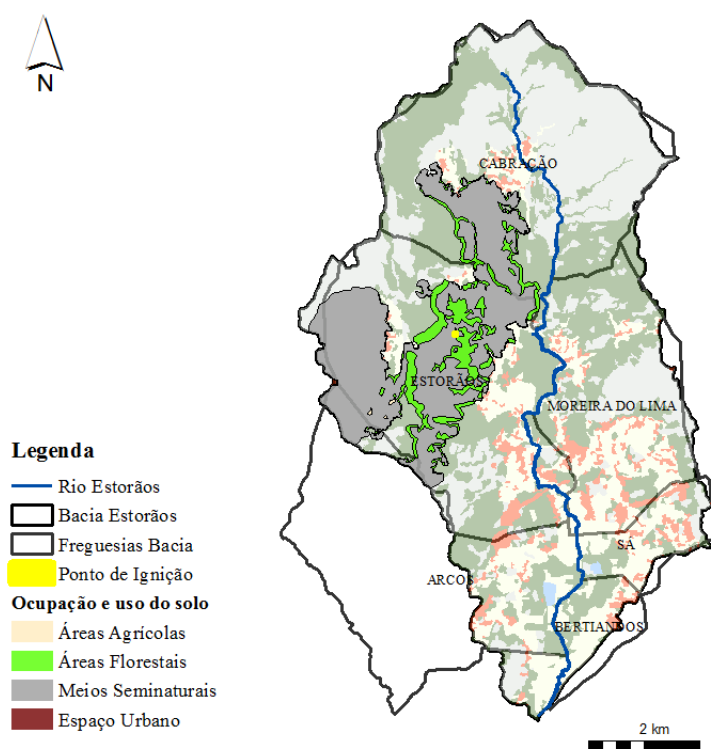
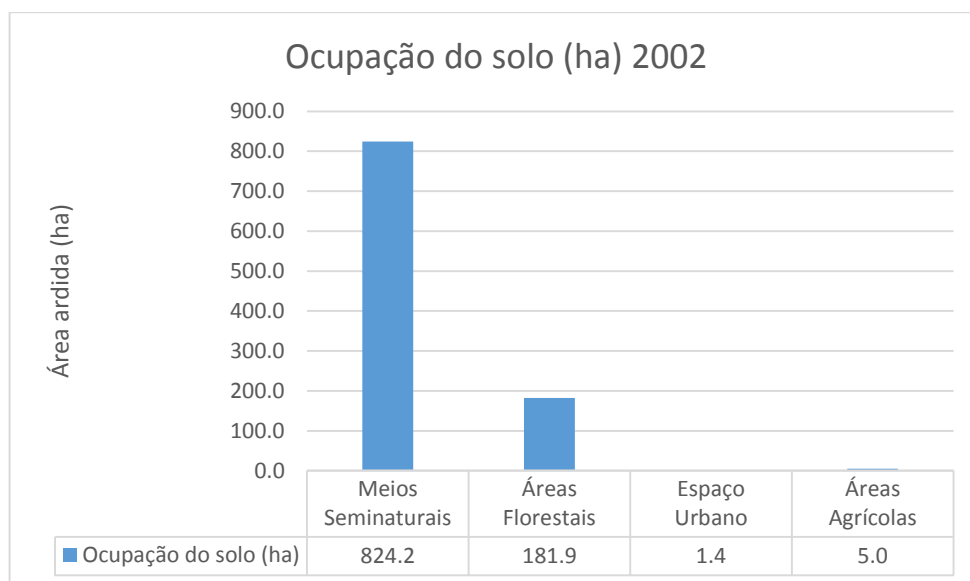


Figura 26 - Área ardida 2002

A simulação representada na figura 25 relativa ao comportamento do fogo, para um dia, utilizando a carta de ocupação e uso do solo de 2002 e os respetivos modelos de combustível demonstra a área ardida de acordo com as condições de topografia e meteorologia definidas considerando o mesmo ponto de ignição. Constatou-se que 18,8% (1012,5ha) da área da bacia iria arder, dos quais 81,4% correspondem a áreas de matos (arbustos e herbáceas), 18% a área florestal e 0,5% a áreas agrícolas. A área mais afetada é a freguesia de Estorãos embora o incêndio se expanda pela área da freguesia de Cabração.

Os gráficos 12 e 13 representam a evolução temporal da área ardida e do perímetro do fogo respetivamente. Num período de tempo de 24h, com um fogo a iniciar pelas 00h do dia 5 de Agosto, verifica-se que até às 18h o perímetro do fogo é relativamente mais reduzido, representando também uma extensão de área ardida mais reduzida. Entre as 18h e as 23:59m regista-se um aumento do perímetro do fogo correspondendo também a uma área ardida maior em menos tempo. Estas alterações temporais de perímetro e quantidade de área ardida estão relacionadas com as condições físicas do território e do modelo de combustível predefinido.

Gráfico 12 - Área ardida 2002

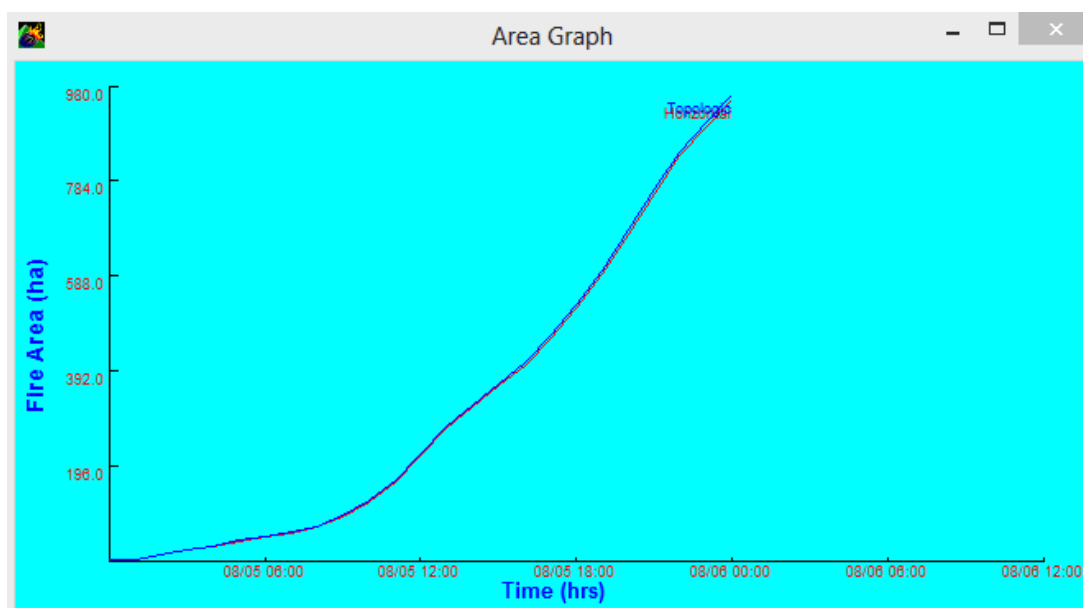
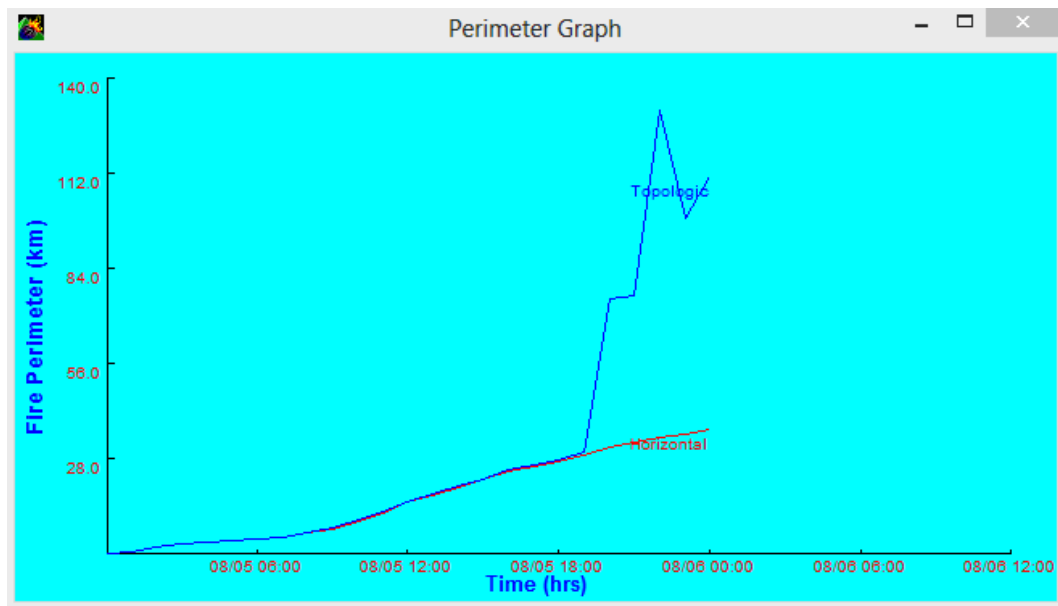


Gráfico 13 - Perímetro ardido 2002



- ✓ *Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo (2004)*

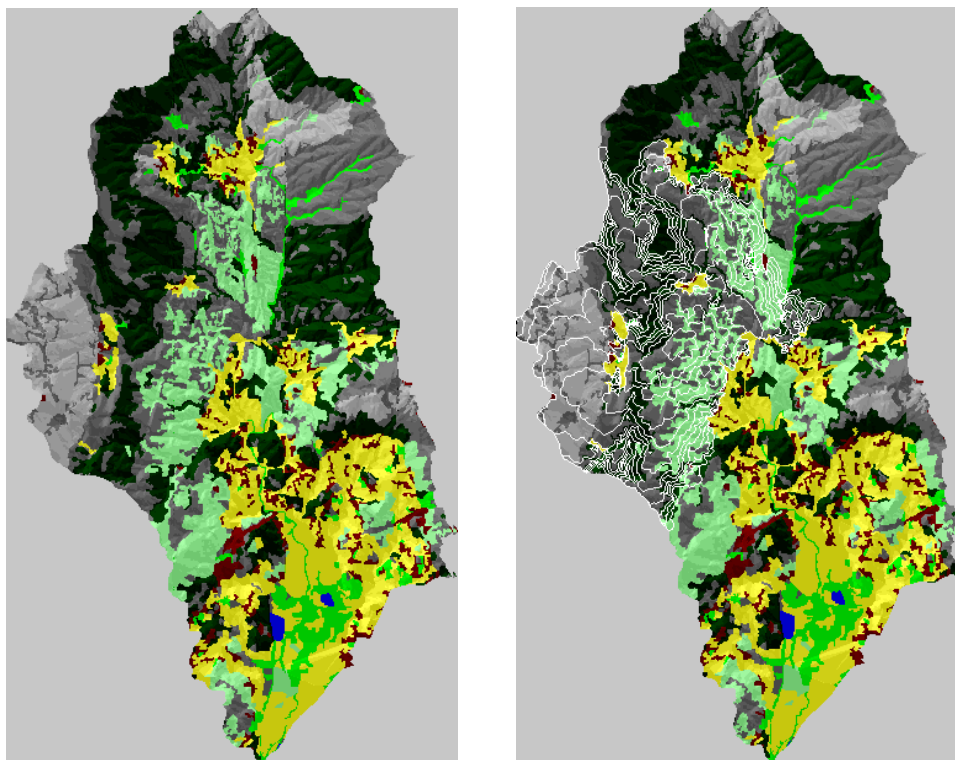


Figura 27 - Simulação do comportamento do fogo (2004)

Gráfico 14 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2004

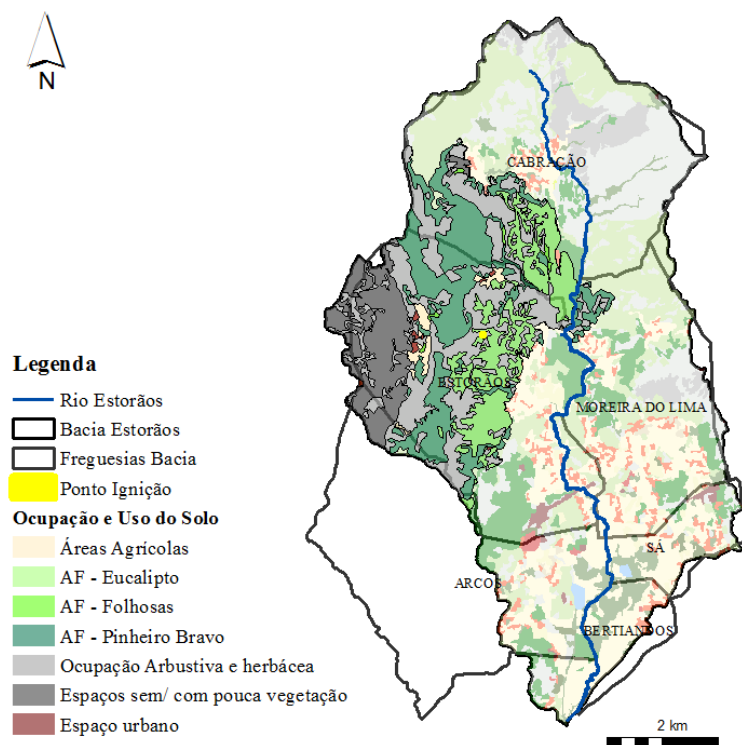
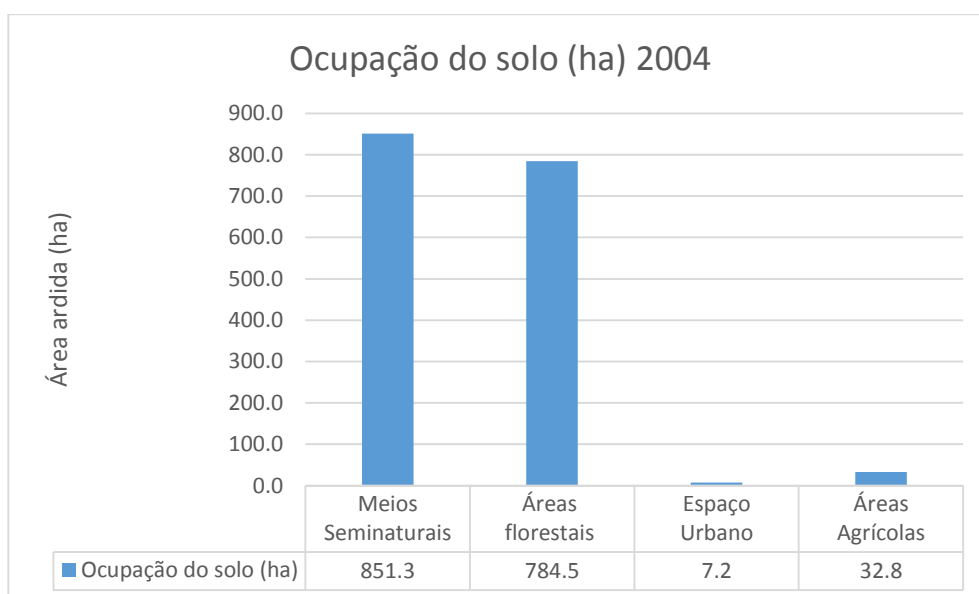


Figura 28 - Área ardida 2004



A figura 27 representa a simulação do comportamento do fogo, para um dia, utilizando a carta de ocupação e uso do solo de 2004 e os respetivos modelos de combustível, considerando a topografia da área de estudo, as condicionantes climáticas e um determinado ponto de ignição. Verificou-se que num incêndio com estas dimensões e características 31,1% da área da bacia iria arder. Da área ardida 50,8% corresponderia a meios seminaturais (575,7ha de ocupação arbustiva e herbáceas; 275,7ha de espaços sem ou com pouca vegetação), 46,8% a área florestal (317,2ha de eucalipto; 10,2ha de folhosas; e 457ha de pinheiro bravo), e 2% a área agrícola. Dado que o ponto de ignição se inicia na freguesia de Estorãos esta é a mais afetada embora haja também alguma ocupação da freguesia de Cabração.

Gráfico 15 - Área ardida 2004

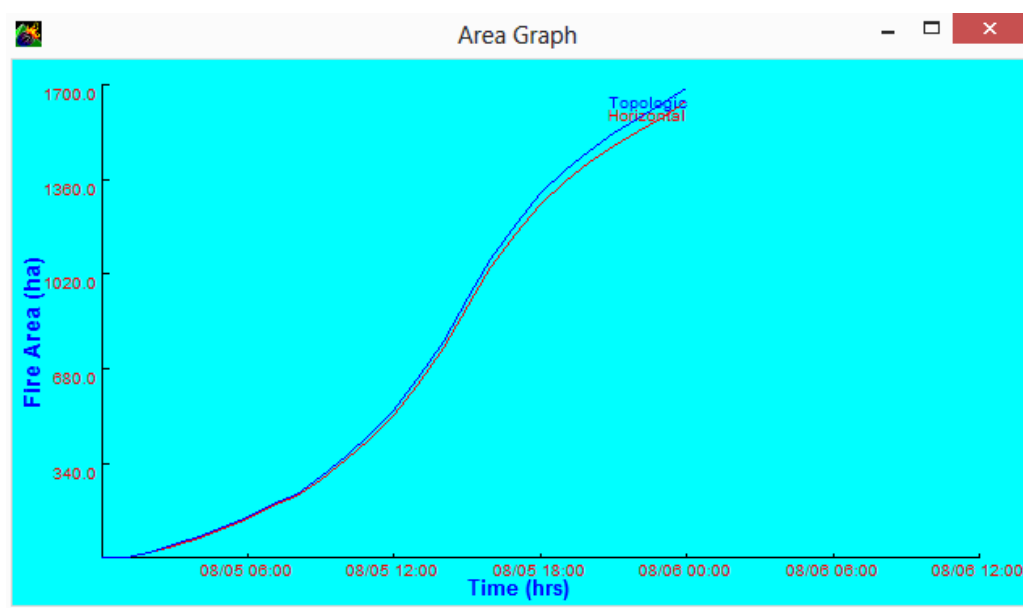
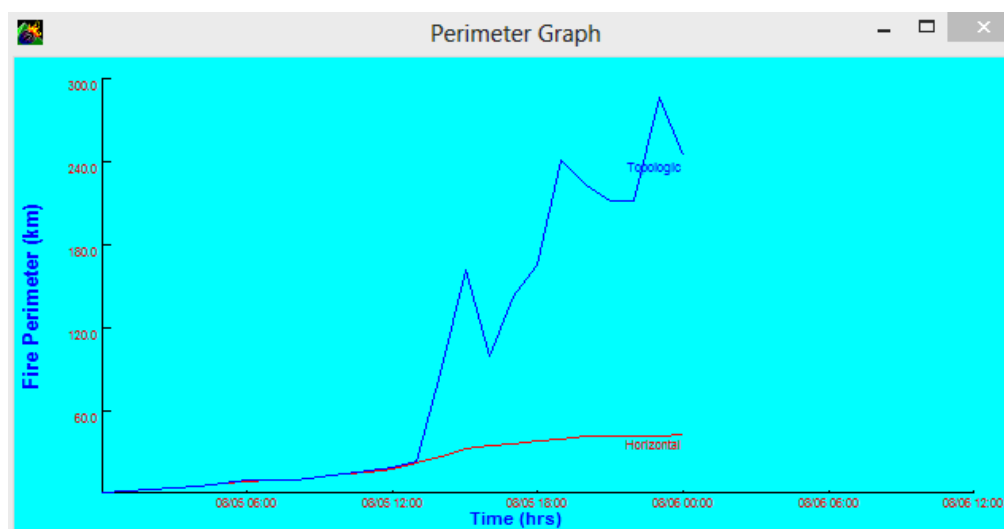


Gráfico 16 - Perímetro ardido 2004



Os gráficos 15 e 16 representam a evolução temporal da área ardida e do perímetro do fogo respetivamente. Para um período de tempo de 24h, com um fogo a iniciar pelas 00h do dia 5 de agosto, verifica-se que até às 12h o perímetro do fogo é relativamente reduzido bem como a extensão da área ardida. Entre as 12h e as 18h verifica-se um aumento considerável da extensão da área ardida bem como do perímetro do fogo, o que está relacionado com o modelo de combustível representado e as condições físicas do território.

Gráfico 17 – Ocupação do solo da área ardida

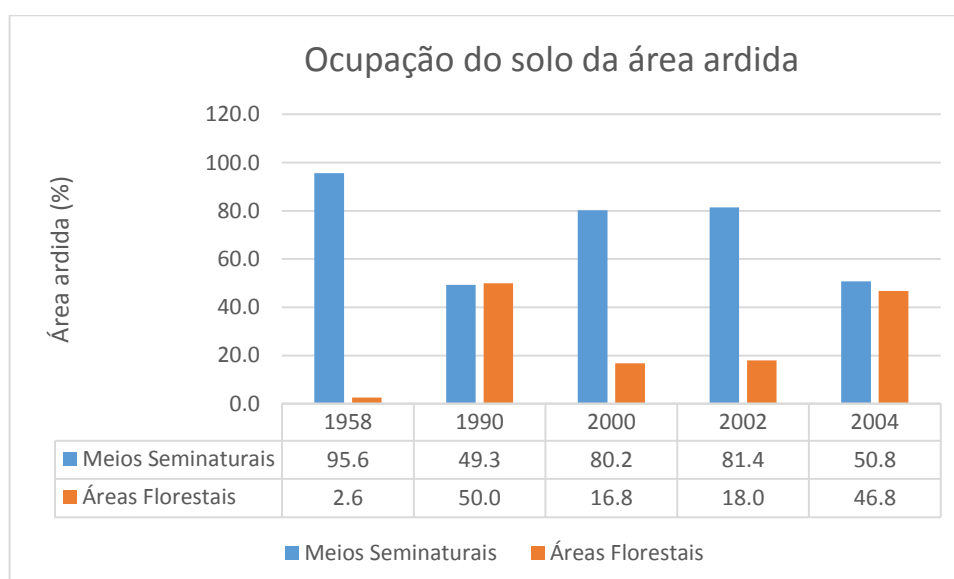
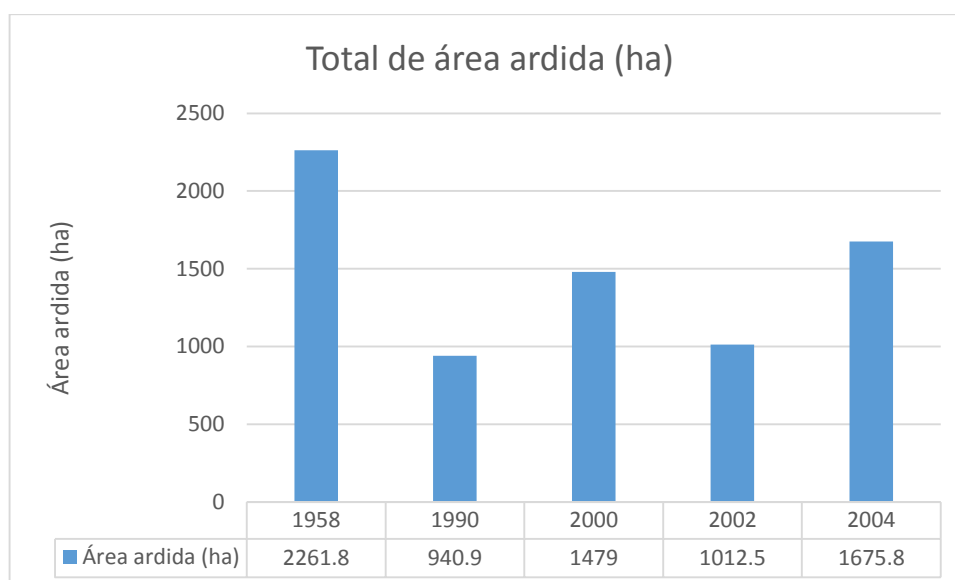


Gráfico 18 – Total da área ardida (ha)



O cenário 1, analisado anteriormente, demonstra de forma bastante evidente que o tipo de ocupação do solo influencia diretamente a quantidade de área ardida gráficos 17 e 18 bem como o impacto ambiental e económico que pode existir. Os anos de 1990 e de 2002 são aqueles que registaram menores valores de área ardida o que está relacionado com o tipo de ocupação e uso de solo que cada um dos anos tem representado. De salientar que esta situação pode estar relacionada com o facto de áreas de matos serem seguidas de florestas que poderão funcionar como meio de bloqueio à propagação do incêndio de acordo com as características particulares dos modelos de combustível.

Se forem consideradas as condições topográficas, meteorológicas e de modelos de combustível do caso de estudo, verifica-se que a quantidade de área ardida varia consoante o tipo de ocupação do solo mais evidente no que se refere aos meios seminaturais ou áreas florestais. Neste sentido, também se constatou que as áreas agrícolas representam dimensões relativamente reduzidas quanto à área ardida bem como o espaço urbano.

Relativamente à propagação do incêndio florestal verificou-se que dada a morfologia da bacia, o ponto de ignição, os modelos de combustível e a influência dos ventos do quadrante sul há tendência geral para propagação no sentido sul-norte tal como demonstram as isolinhas das simulações realizadas. Um outro aspeto a destacar relaciona-se com a dimensão temporal para a quantidade de área ardida.

Verificou-se que dependendo do tipo de modelo de combustível que está representado o período de tempo de consumo de área ardida é variável. Neste sentido, pode considerar-se que provavelmente numa situação de um incêndio com as condições do Cenário 1, determinados modelos de combustível podem ser mais favoráveis para o combate ao fogo.

#### **4.3 - Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos – Cenário 2**

O Cenário 2 considera as seguintes condições: Ocorrência de um fogo com ponto de ignição aleatório na freguesia de Estorãos no dia 1 do mês de Agosto à meia-noite para os anos de 1958, 1990 e 2004. As condições climáticas registadas correspondem a temperaturas médias superiores a 20° C, ausência de precipitação, baixa humidade e ventos do quadrante Sul. A simulação foi realizada para 10 dias sem condicionantes de espaço artificiais ou naturais (estradas ou linhas de água).

- ✓ *Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo (1058)*

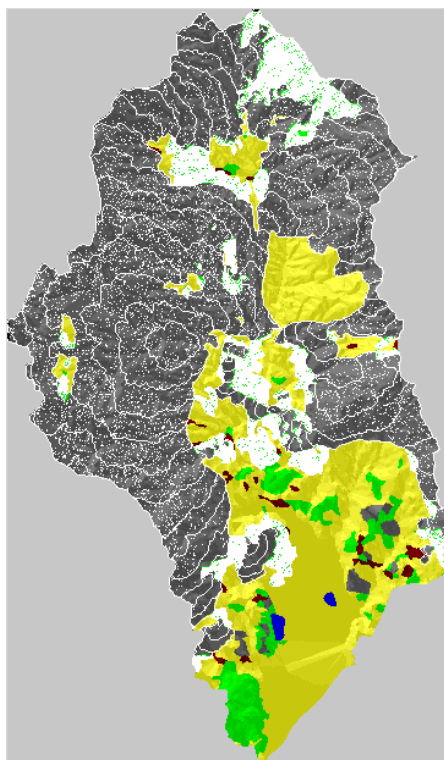
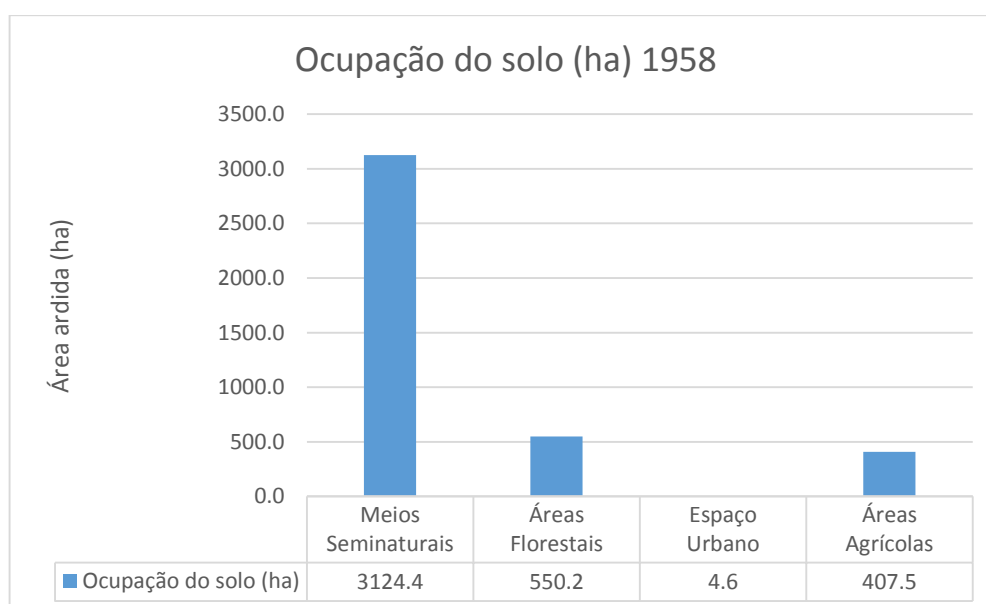


Figura 29 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 1958, para um período de 10 dias

Gráfico 19 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 1958



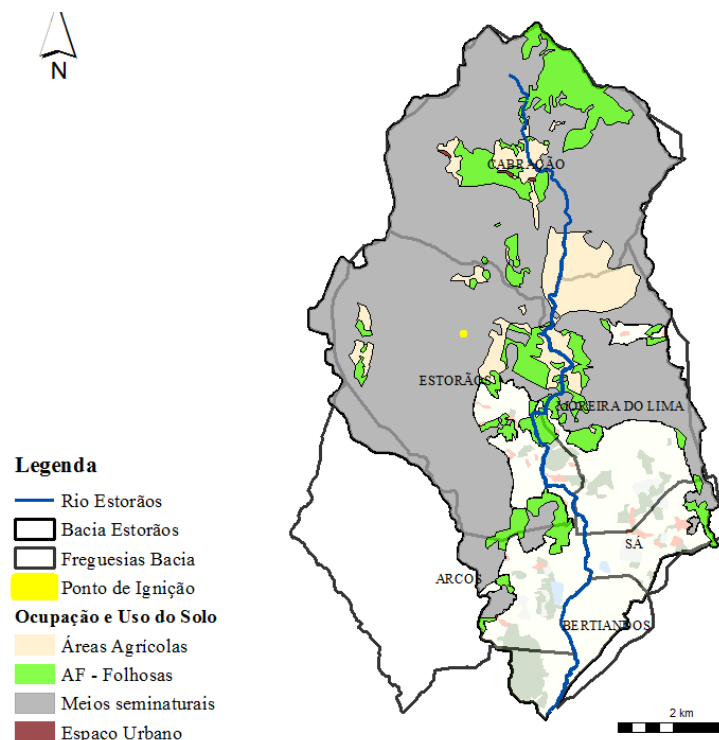


Figura 30 - Área ardida 1958

O cenário definido considera determinadas condições climáticas, de temperaturas elevadas, ausência de precipitação, baixa humidade e ventos de quadrante sul. A área de estudo, bacia de Estorãos, neste segundo cenário também não contemplou determinados aspetos de linhas de água ou caminhos e estradas que são importantes numa situação de contexto real.

A figura 29 representa a simulação do comportamento do fogo, para dez dias, utilizando a carta de ocupação e uso do solo de 1958 e os respetivos modelos de combustível. Verifica-se que a área ardida é bastante mais extensa correspondendo a 75,8% da área total da bacia. O tipo de ocupação mais afetado corresponde a meios seminaturais, 3124,4ha, seguido de áreas florestais (550,2ha), e áreas agrícolas com 9,9ha. O espaço urbano praticamente não tem significado. Destaca-se que as áreas agrícolas localizadas na base da bacia não evidenciam características de propagação de um incêndio florestal.

Gráfico 20 - Área ardida 1958

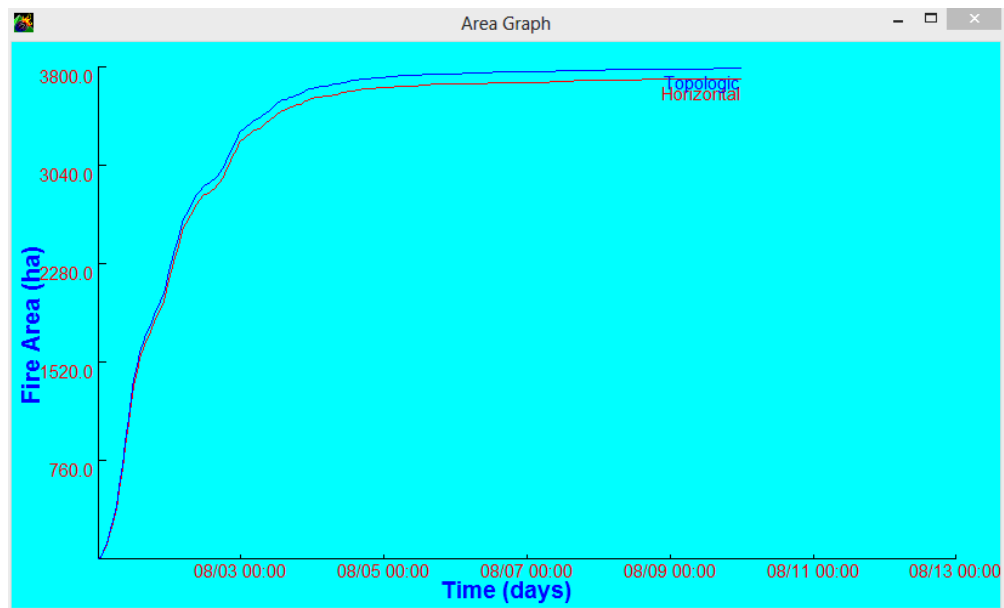
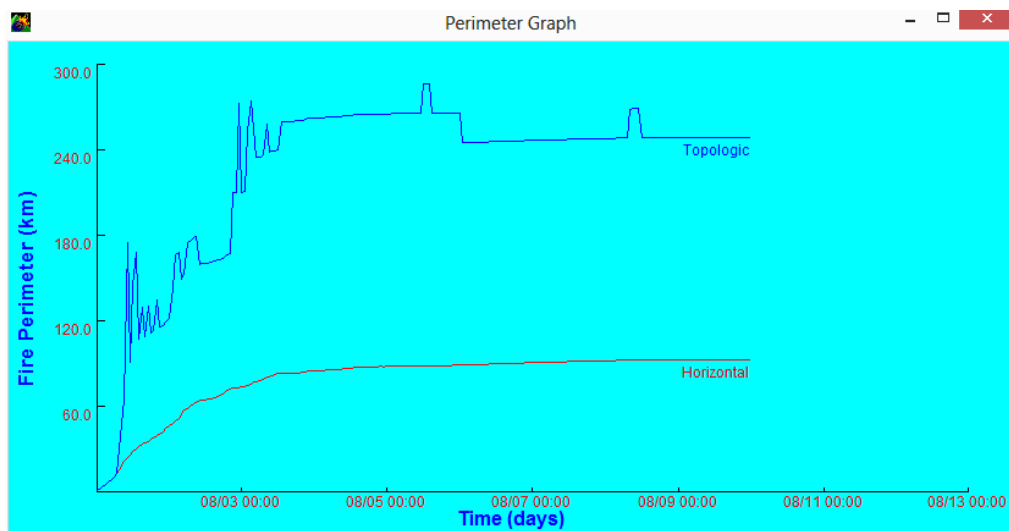


Gráfico 21 - Perímetro ardido 1958



Os gráficos 20 e 21 representam a evolução temporal da área ardida e do perímetro do fogo respetivamente. A simulação realizada para um período de tempo de 10 dias, com um fogo a iniciar pelas 00h do dia 1 de Agosto, demonstrou que ao terceiro dia já tinha ardido a maior parte da área consumida pelo fogo. Em relação ao perímetro do fogo pode visualizar-se que durante esses três dias, dependendo do tipo de modelo de combustível, a velocidade de propagação e o perímetro aumentam.

- ✓ *Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo (1990)*

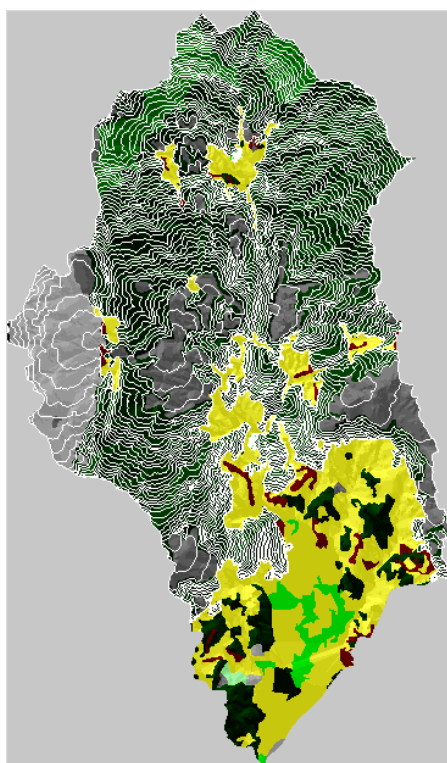


Figura 31 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 1990, para um período de 10 dias



Gráfico 22 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 1990

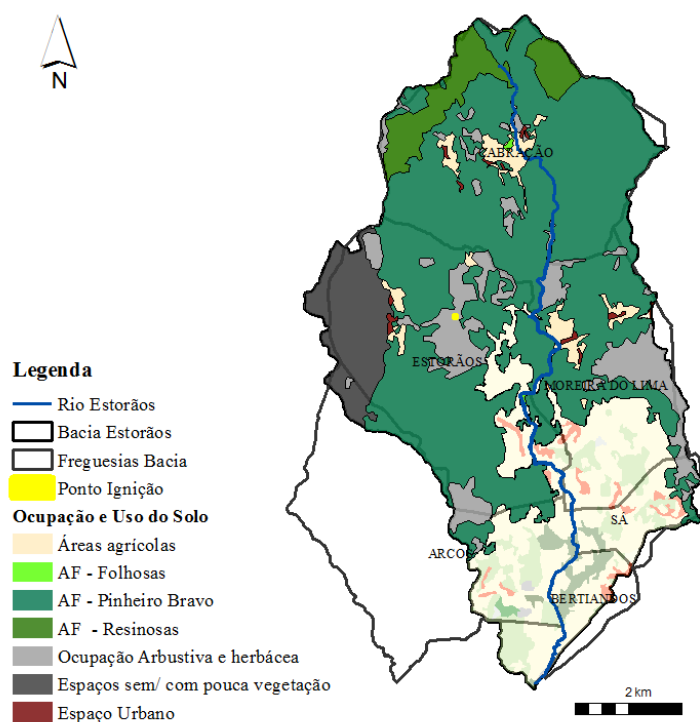
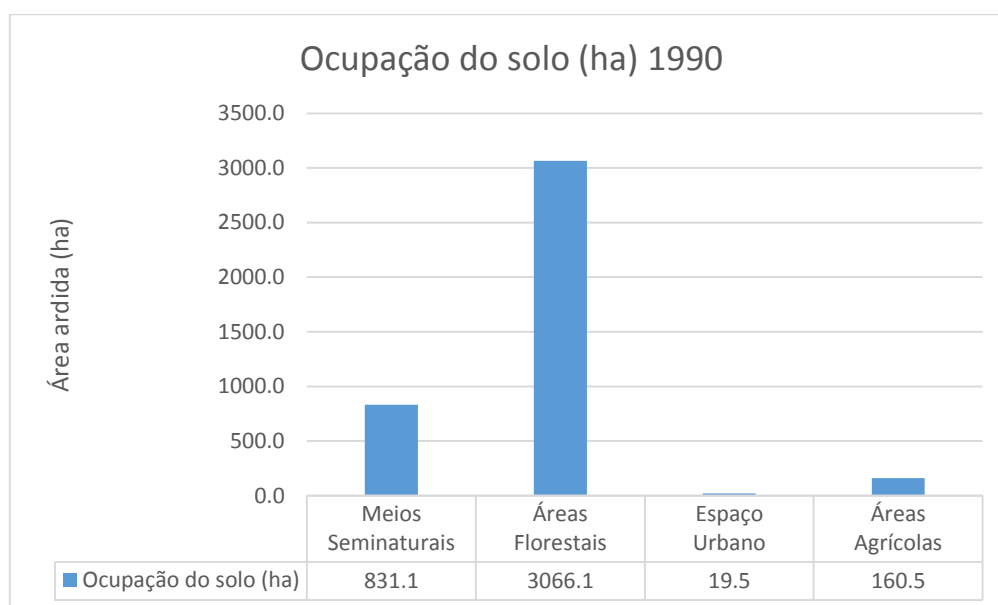


Figura 32 - Área ardida 1990

A figura 31 representa a simulação do comportamento do fogo, para dez dias, utilizando a carta de ocupação e uso do solo de 1990 e os respetivos modelos de combustível. Verifica-se também que a área ardida é bastante mais extensa correspondendo a 75,6% da área total da bacia. O tipo de ocupação mais afetado corresponde a meios seminaturais, 831,1ha (498,3 – ocupação arbustiva e herbácea; 332,8 ha – espaços sem ou com pouca vegetação), seguido de áreas florestais 550,2ha, (folhosas – 5,2ha; resinosas – 262,6ha; e pinheiro bravo – 2798,3ha) e áreas agrícolas com 9,9ha. O espaço urbano praticamente não tem significado (0,5ha). Destaca-se que as áreas agrícolas localizadas na base da bacia e outras secções não evidenciam características de propagação de um incêndio florestal.

Os gráficos 23 e 24 representam a evolução temporal da área ardida e do perímetro do fogo respetivamente. A simulação realizada para um período de tempo de 10 dias, com um fogo a iniciar pelas 00h do dia 1 de Agosto, demonstrou que apenas ao sétimo dia já tinha ardido a maior parte da área consumida pelo fogo.

Em relação ao perímetro do fogo pode visualizar-se que aquele é maior entre o segundo e o sétimo dia. Dependendo do tipo de modelo de combustível, a velocidade de propagação e o perímetro aumentam.

Gráfico 23 - Área ardida 1990

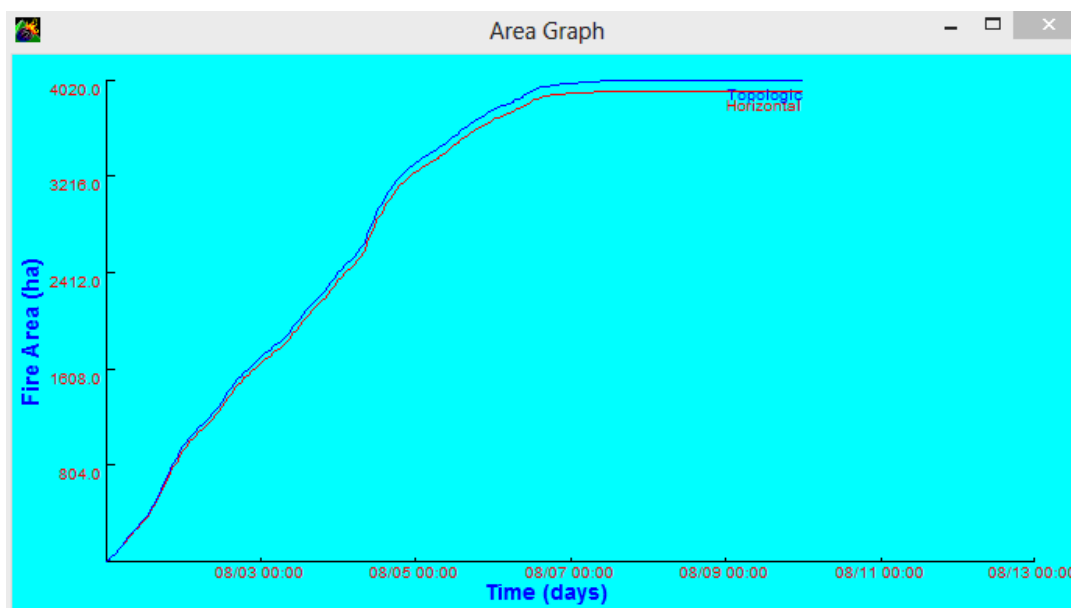
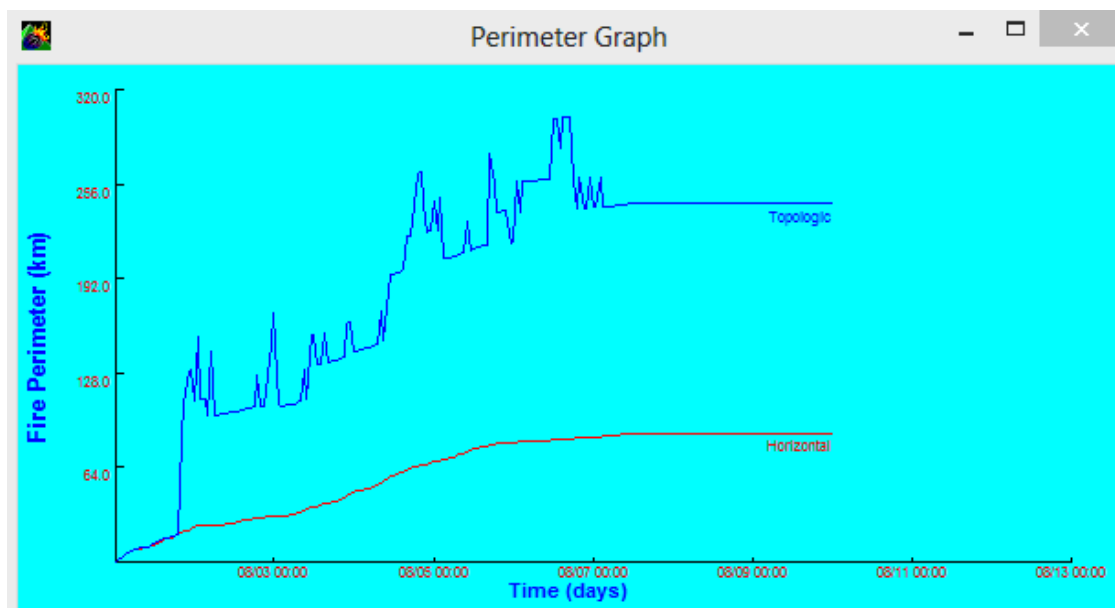


Gráfico 24 - Perímetro ardido 1990



✓ *Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo (2004)*

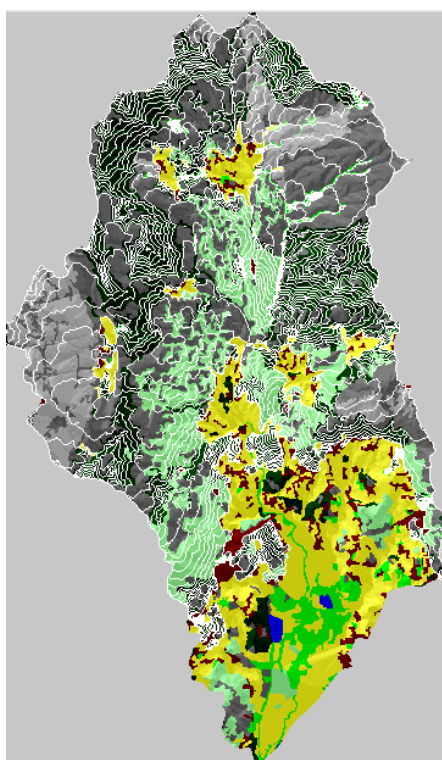


Figura 33 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 2004, para um período de 10 dias

Gráfico 25 - Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2004

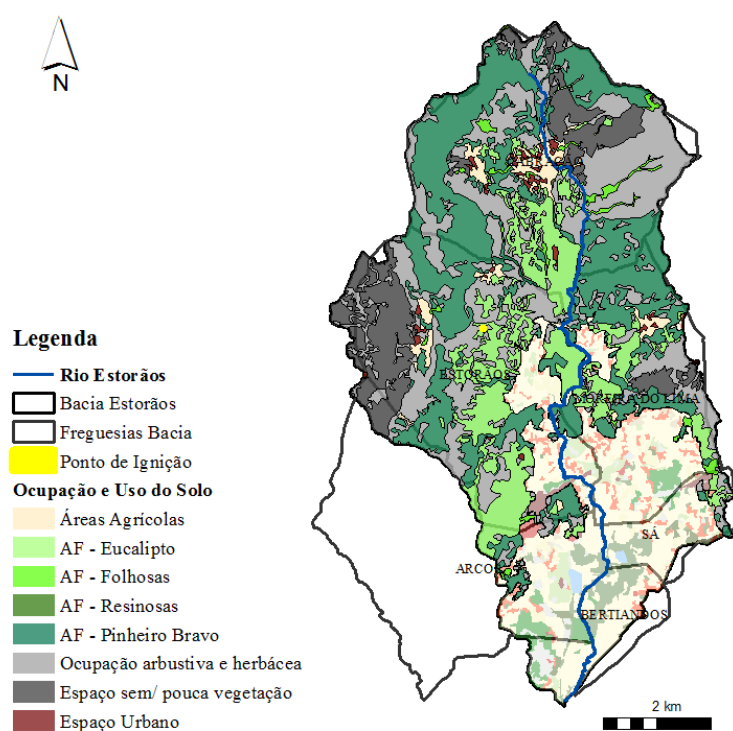
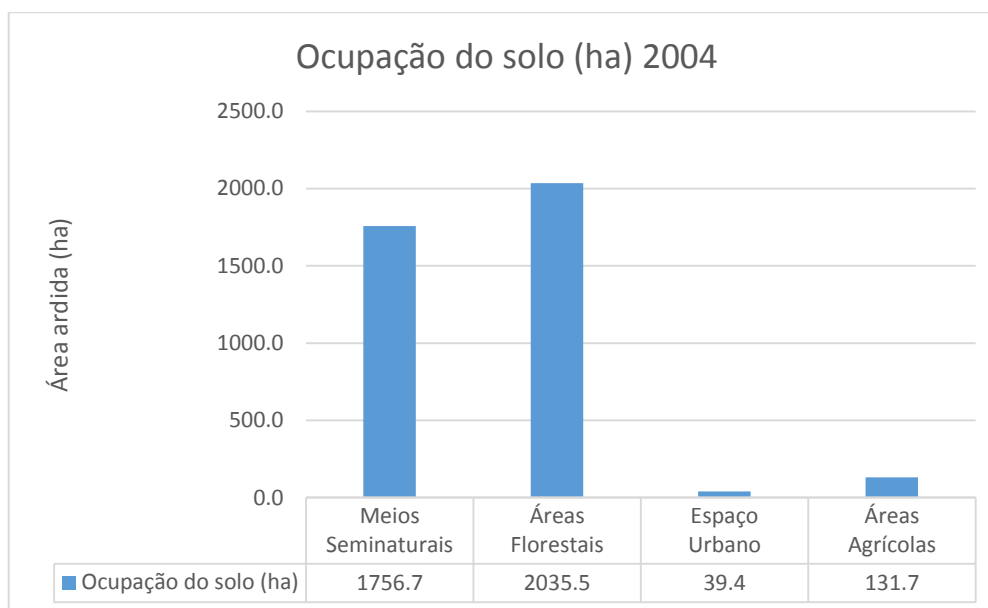


Figura 34 - Área ardida 2004

A figura 33 representa a simulação do comportamento do fogo, para dez dias, utilizando a carta de ocupação e uso do solo de 2004 e os respetivos modelos de combustível. Verifica-se que a área ardida é bastante mais extensa correspondendo a 73,5% da área total da bacia. O tipo de ocupação mais afetado corresponde a áreas florestais 2035,5ha (667,1ha – eucalipto; 72,9ha – folhosas; 0,4ha – resinosas; 1295,1ha – pinheiro bravo), seguido de meios seminaturais, 1756,7ha (1273,7 – ocupação arbustiva e herbácea; 483ha – espaços sem ou com pouca vegetação), e áreas agrícolas com 3,3ha. O espaço urbano praticamente não tem significado (1ha). Destaca-se que as áreas agrícolas localizadas na base da bacia e outras secções não evidenciam características de propagação de um incêndio florestal.

Gráfico 26 - Área ardida 2004

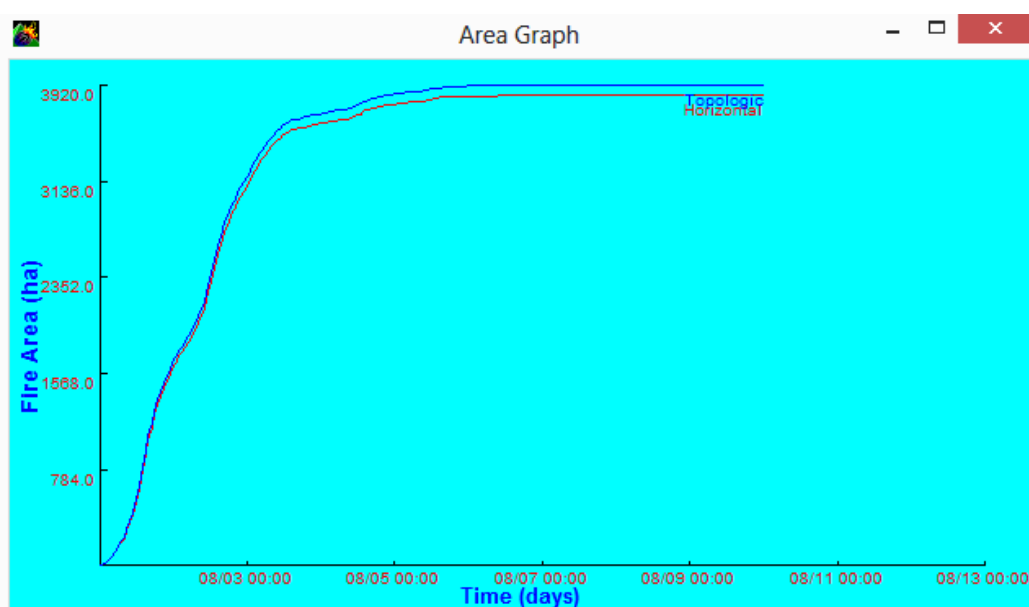
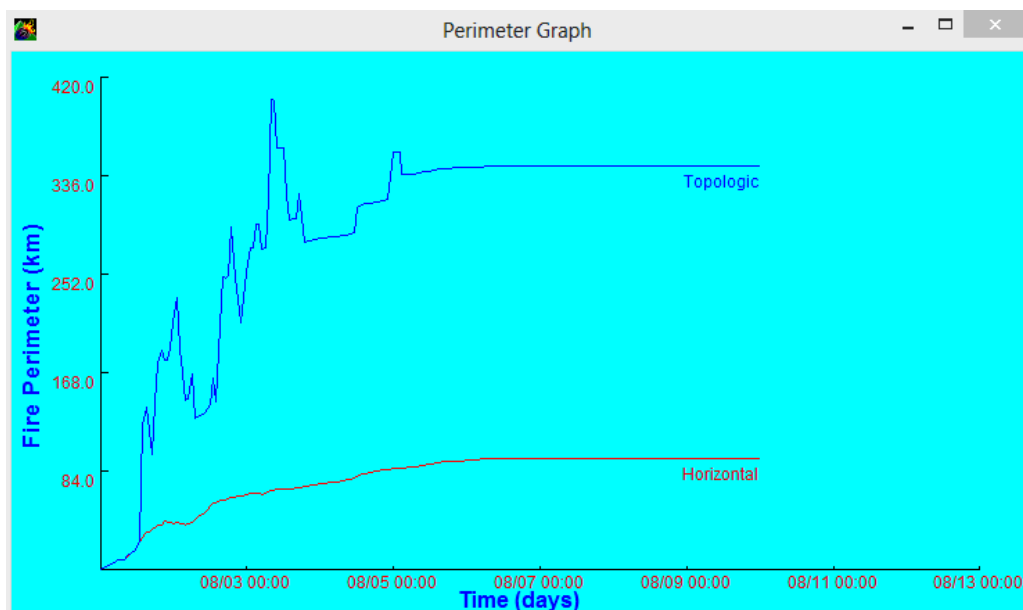


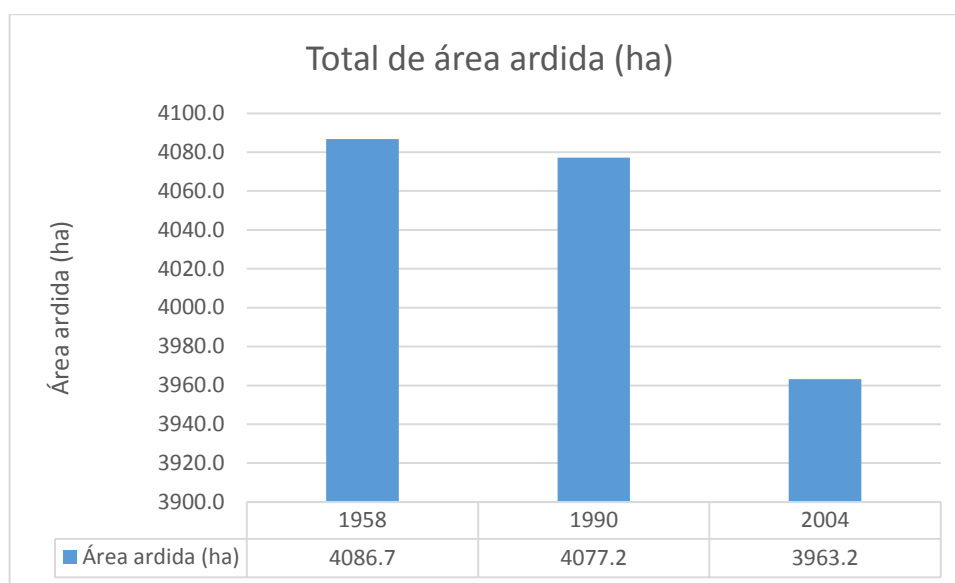
Gráfico 27 - Perímetro ardido 2004



Os gráficos 26 e 27 representam a evolução temporal da área ardida e do perímetro do fogo respetivamente.

A simulação realizada para um período de tempo de 10 dias, com um fogo a iniciar pelas 00h do dia 1 de Agosto, demonstrou que ao quinto dia já tinha ardido a maior parte da área consumida pelo fogo. Em relação ao perímetro do fogo pode visualizar-se que aquele é maior entre o primeiro e o quarto dia. Dependendo do tipo de modelo de combustível, a velocidade de propagação e o perímetro aumentam.

Gráfico 28 - Total da área ardida (ha)



O cenário 2 que realiza a simulação do comportamento do fogo para um período de 10 dias analisado anteriormente, demonstra de forma bastante evidente que o tipo de ocupação do solo influencia diretamente a quantidade de área ardida (gráfico 28). Verifica-se que há uma diminuição da extensão de área ardida quando comparamos os três anos de simulação constatando-se que em 1958 a dimensão da área ardida foi maior, facto que poderá estar relacionado com o tipo de vegetação existente (ocupação arbustiva e herbácea). Nos anos de 1990 e 2004 registou-se uma diminuição da extensão da área ardida mas em contrapartida aumentou a área florestal ardida o que em termos económicos e ambientais terá um impacto maior.

Também se visualizou que as áreas agrícolas representam dimensões relativamente reduzidas quanto à área ardida bem como o espaço urbano.

Relativamente à propagação do incêndio florestal verificou-se que dada a morfologia da bacia, o ponto de ignição, os modelos de combustível e a influência dos ventos do quadrante sul há tendência geral para propagação no sentido sul-norte tal como demonstram as isolinhas das simulações realizadas.

Para além disso as isolinhas também evidenciam que em áreas de ocupação arbustiva ou herbácea a propagação de fogo é relativamente mais rápida (isolinhas mais espaçadas) enquanto em áreas florestais a propagação é mais lenta (isolinhas mais próximas).

Um outro aspeto a destacar relaciona-se com a dimensão temporal para a quantidade de área ardida. Verificou-se que dependendo do tipo de modelo de combustível que está representado o período de tempo de consumo de área ardida é variável. Neste sentido, numa situação de um incêndio com as condições do cenário 2 a área ardida é consumida num período de tempo máximo de 7 dias.

#### **4.4 - Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos – Cenário 3**

O Cenário 3 considera as seguintes condições: Ocorrência de um fogo com ponto de ignição aleatório sobre diferentes modelos de combustível na bacia de Estorãos no dia 5 do mês de Agosto à meia-noite para os anos de 1958 e de 2004. As condições climáticas registadas correspondem a temperaturas médias superiores a 20° C, ausência de precipitação, baixa humidade e ventos do quadrante Sul. A simulação foi realizada para 1 dia sem condicionantes de espaço (estradas ou linhas de água).



✓ *Simulação para 1958, considerando diferentes pontos de ignição*

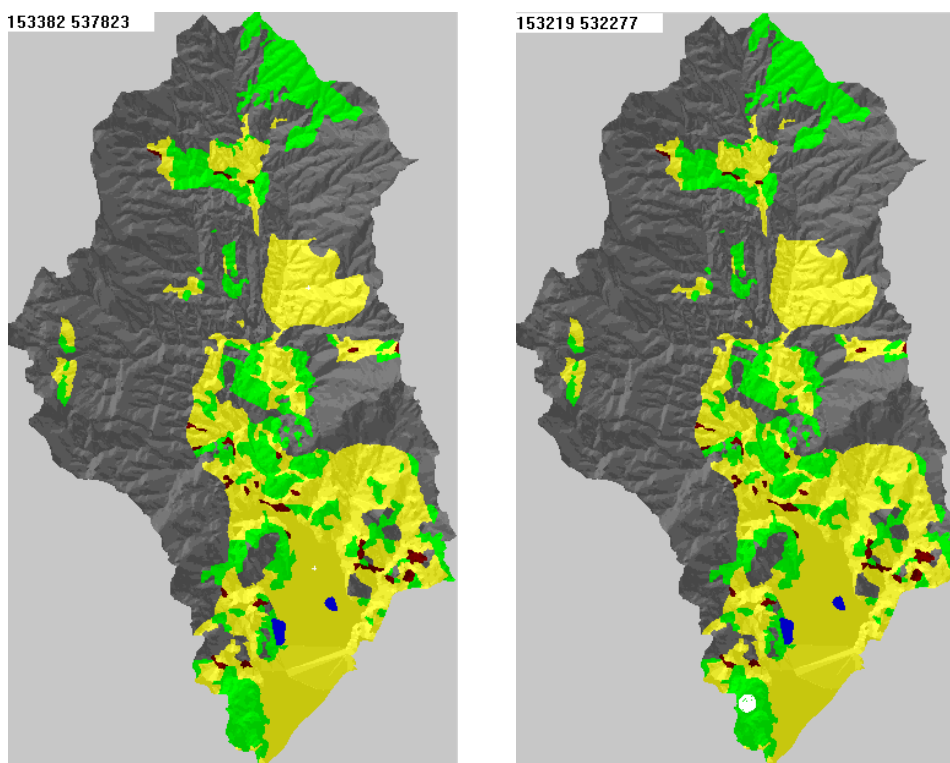
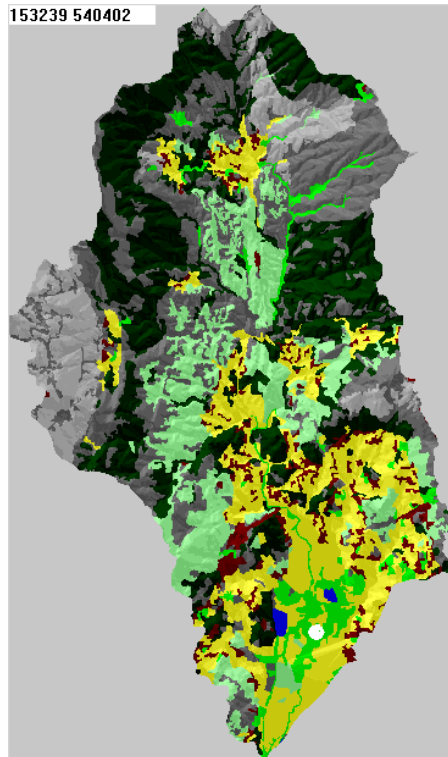
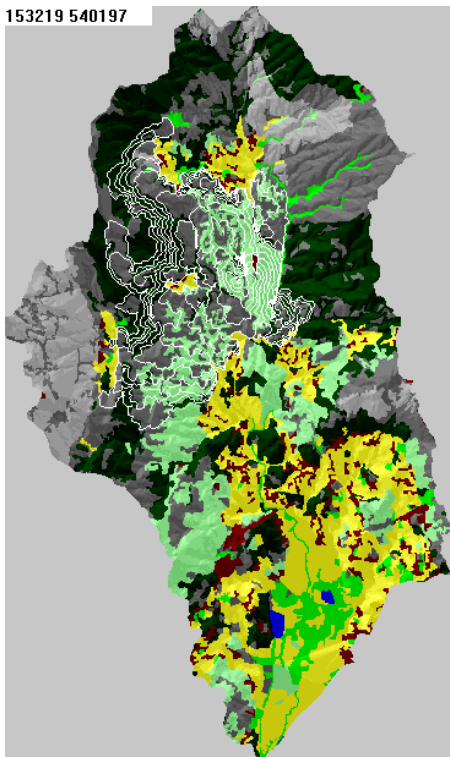
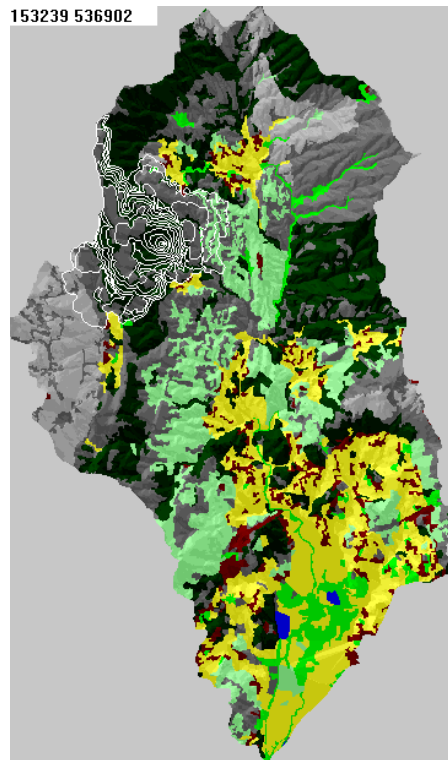
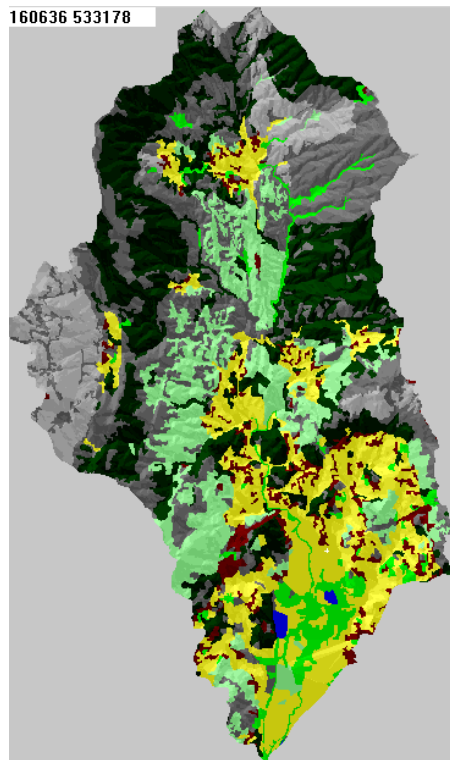


Figura 35 - Simulações para ano 1958, considerando diferentes pontos de ignição

A figura 35 demonstra duas simulações do comportamento do fogo considerando pontos de ignição em diferentes modelos de combustível. Verifica-se que quando ocorre um ponto de ignição em áreas agrícolas não há evidência de um incêndio florestal pelo facto de não ser uma ocupação com características de combustibilidade elevada. Quando o ponto de ignição ocorre sobre uma área de floresta, neste caso particular de folhosas, a simulação demonstra que a dimensão da área ardida é relativamente reduzida pelo facto de ser um modelo de baixa combustibilidade.

✓ *Simulação para 2004, considerando diferentes pontos de ignição*



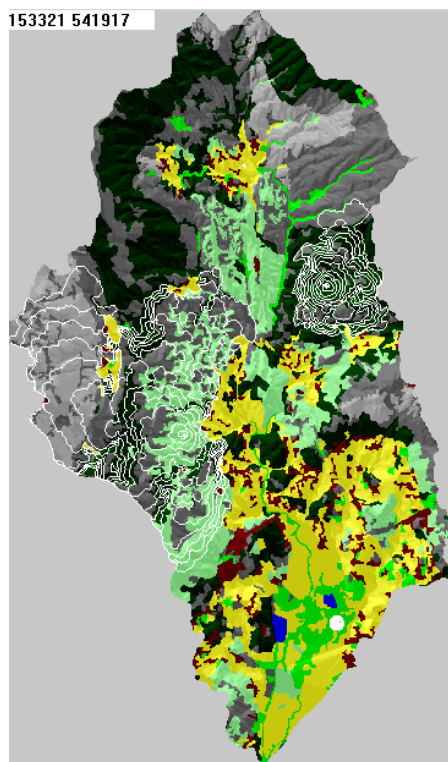


Figura 36 - Simulações para ano 2004, considerando diferentes pontos de ignição

A figura 36 demonstra cinco simulações do comportamento do fogo considerando pontos de ignição em diferentes modelos de combustível. Verifica-se que quando ocorre um ponto de ignição em áreas agrícolas não há evidência de um incêndio florestal pelo facto de não ser uma ocupação com características de combustibilidade elevada. Quando o ponto de ignição ocorre sobre uma área de floresta a dimensão da área ardida é variável de acordo com a espécie representada. Se o ponto de ignição ocorre sobre uma área de folhosas a dimensão da área ardida é menor do que se ocorrer sobre uma área de eucalipto ou de resinosas. É importante salientar que o fogo progride de acordo com os ventos predominantes, neste caso particular verifica-se uma tendência de progressão no sentido sul-norte, embora haja também a influência das características físicas da bacia.

A progressão do fogo, em todas as simulações, faz-se mais rapidamente nas áreas de ocupação arbustiva e herbácea (modelo combustível 4), uma vez que os incêndios se propagam facilmente e com grande velocidade neste tipo de modelo de combustível.

Por oposição, nas zonas de florestas resinosas e folhosas (modelos de combustível 8 e 9) a progressão é mais lenta (sobreposição das isolinhas).

#### 4.5 - Simulação do comportamento do fogo na área da Bacia do Rio Estorãos – Cenário 4

O Cenário 4 considera as seguintes condições: Ocorrência de um fogo com pontos de ignição aleatórios sobre diferentes modelos de combustível na bacia de Estorãos no dia 5 do mês de Agosto à meia-noite para o ano de 2004. As condições climáticas registadas correspondem a temperaturas médias superiores a 20° C, ausência de precipitação, baixa humidade e ventos do quadrante Sul. A simulação foi realizada para 10 dias considerando condicionantes de espaço e a criação de barreiras para impedir a propagação do fogo.

✓ *Simulação para 2004, considerando a criação de barreiras artificiais*

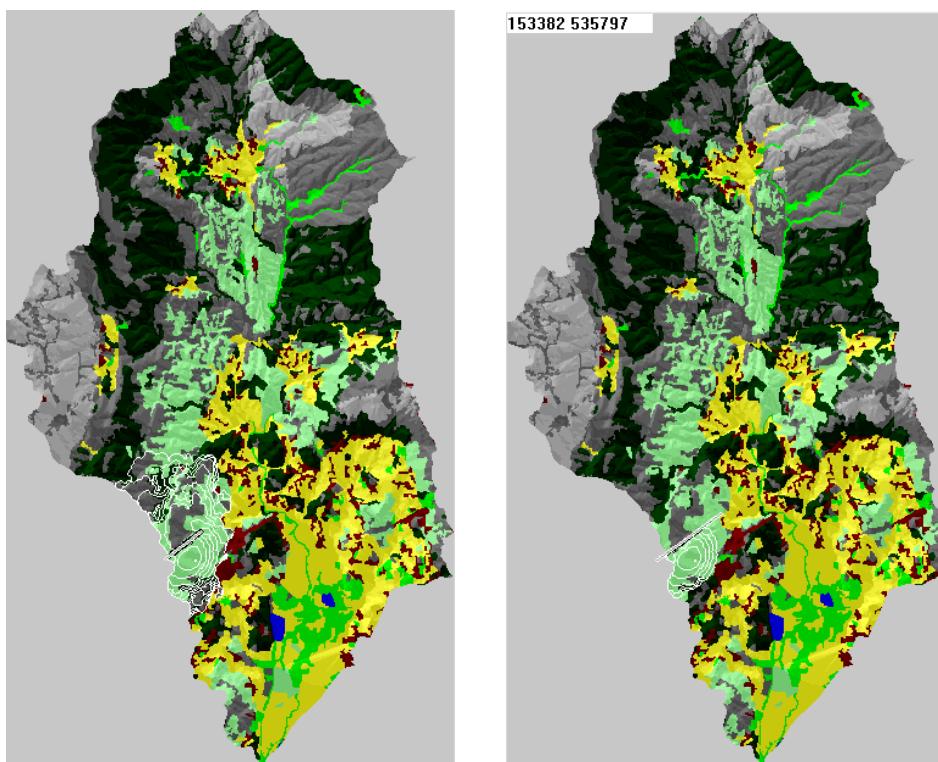


Figura 37 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 2004 – colocação de barreiras artificiais

A Figura 37 representa duas simulações considerando a existência de uma barreira como meio de combate, com o objetivo de reduzir de forma aceitável a área ardida. As barreiras colocadas pretendiam exemplificar uma forma de conter o incêndio. Deste modo, foram realizadas duas simulações considerando uma barreira em cada um dos casos. Na primeira situação a barreira colocada era relativamente curta, verificando-se que havia propagação do fogo para além desta, não exercendo os efeitos pretendidos de impedimento da propagação do fogo para outras áreas. Na segunda situação colocou-se uma barreira de maior comprimento, verificando-se que efetivamente o fogo ficou circunscrito à área delimitada pela barreira, verificando-se que o incêndio florestal foi extinto com maior rapidez e eficácia. Os gráficos 29 e 30 representam as duas situações com colocação da barreira verificando-se que com a criação de uma barreira relativamente curta a propagação do fogo abrandava entre as 12h e as 16h, embora progredia após ultrapassada a barreira (gráfico 29).

O gráfico 30 demonstra que o incêndio florestal extingue-se até às 12h do mesmo dia. Um outro aspeto a destacar refere-se à área ardida: com a colocação da barreira artificial 1 a área ardida é cerca de 300ha enquanto que com a colocação da barreira artificial 2 a área ardida não ultrapassa os 80ha. De salientar que a segunda situação demonstra comportamento do fogo face a uma situação de combate direto ou ausência de vegetação combustível.

Gráfico 29 – Área ardida com barreira artificial 1

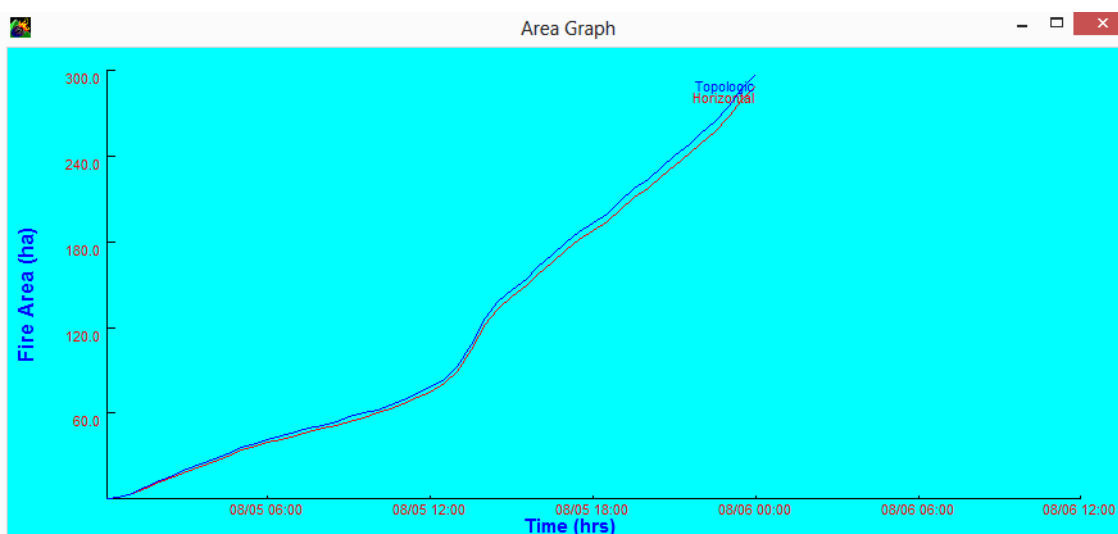
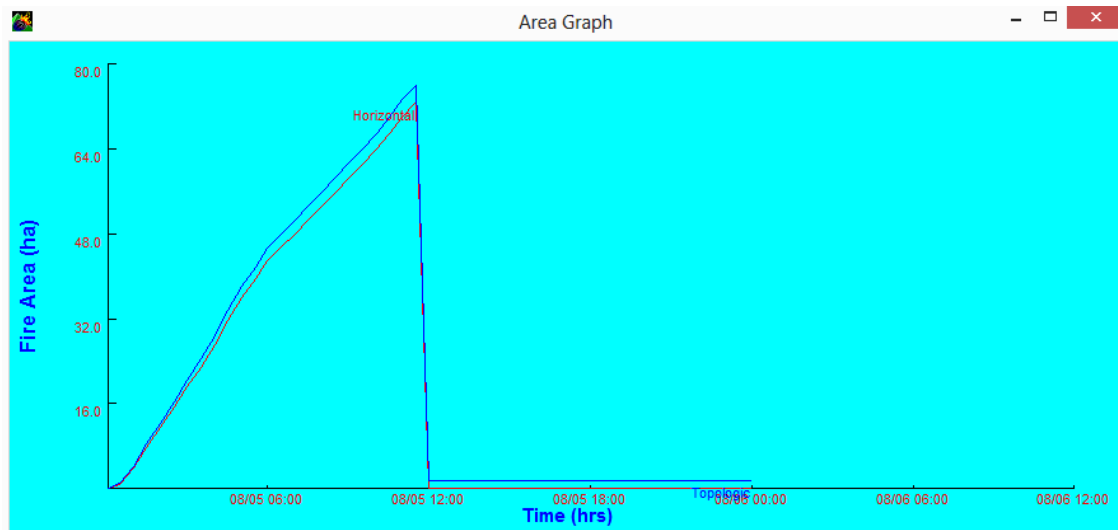




Gráfico 30 - Área ardida com barreira artificial 2



✓ *Simulação para 2004, considerando linhas de água e estradas*

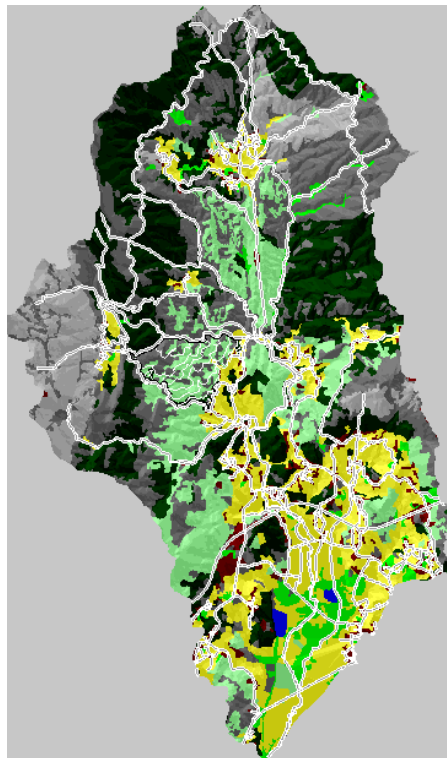
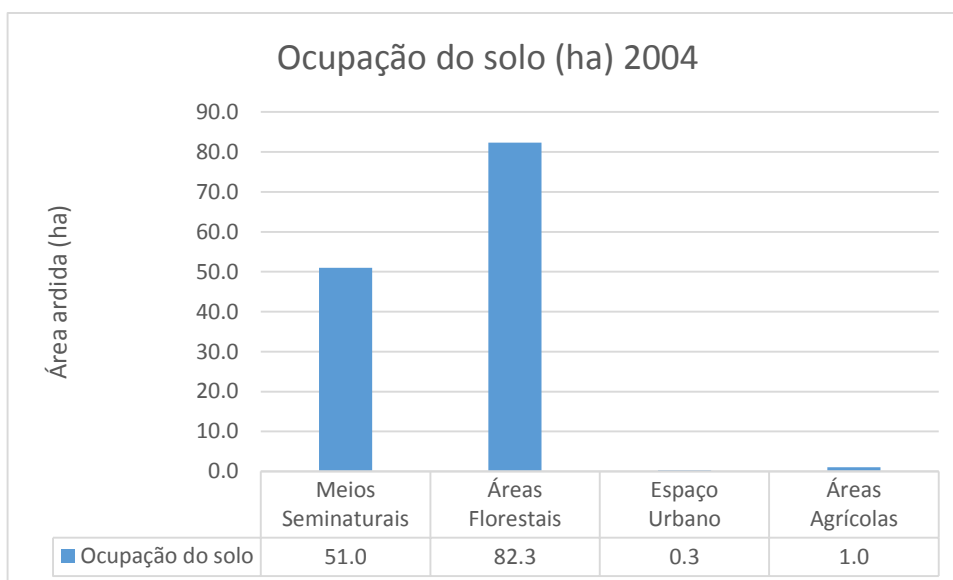


Figura 38 - Simulação do comportamento do fogo usando a carta de ocupação e uso do solo de 2004 – considerando as linhas de água e estradas

A Figura 38 representa uma simulação do comportamento do fogo considerando elementos naturais (linhas de água) e humanos (estradas) da paisagem, que podem constituir barreiras naturais ou artificiais à propagação do fogo. Verificou-se que a área ardida fica circunscrita ao espaço delimitado pelas linhas de água e pela estrada. A área ardida em comparação com as simulações realizadas anteriormente é bastante mais reduzida representando apenas 2,5% da área total da Bacia. Em termos de ocupação do solo verifica-se que a maioria da área ardida é de área florestal (eucalipto – 83,2ha).

Gráfico 31 – Área ardida e respetiva ocupação e uso do solo 2004



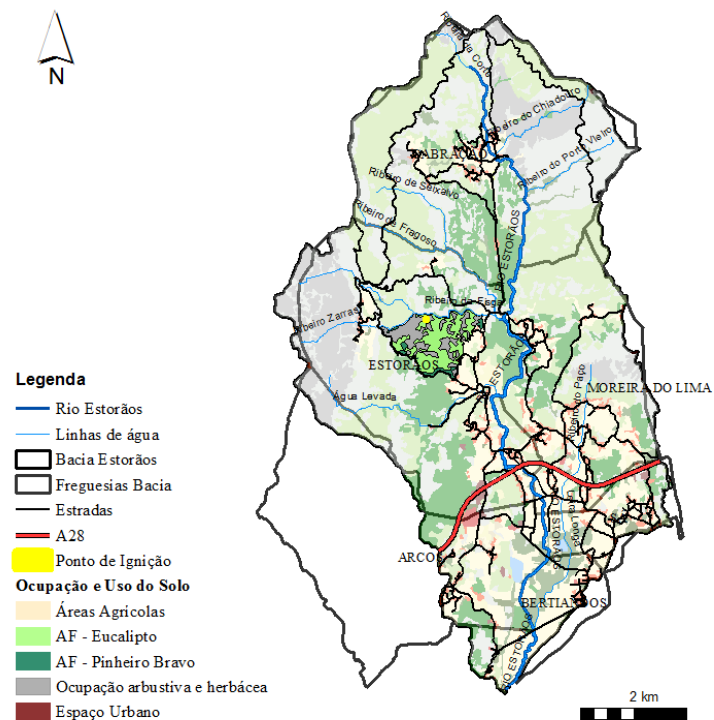


Figura 39 - Área ardida usando a carta de ocupação e uso do solo de 2004 – considerando as linhas de água e estradas

Gráfico 32 - Área ardida 2004

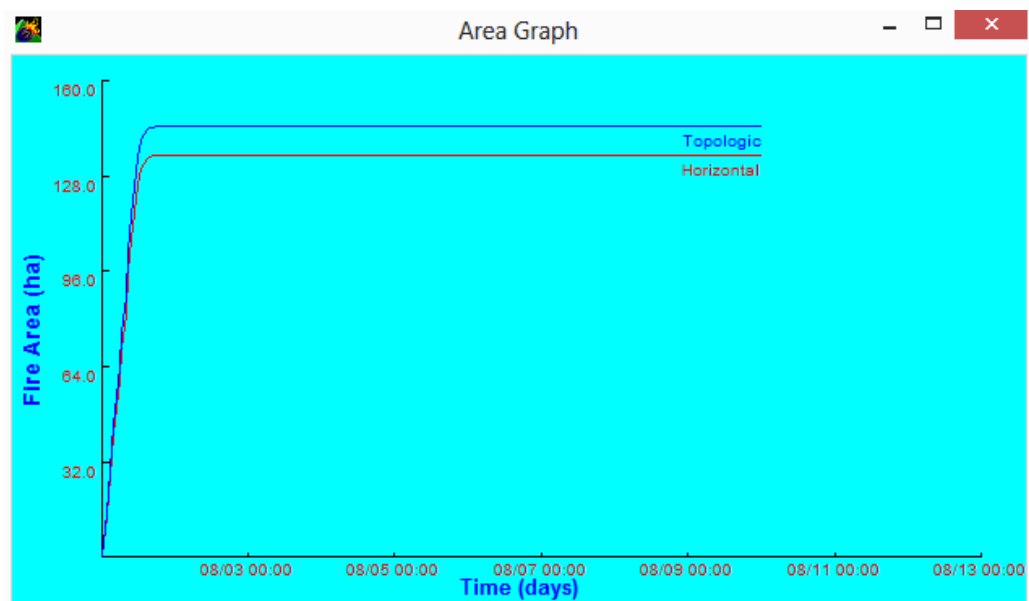
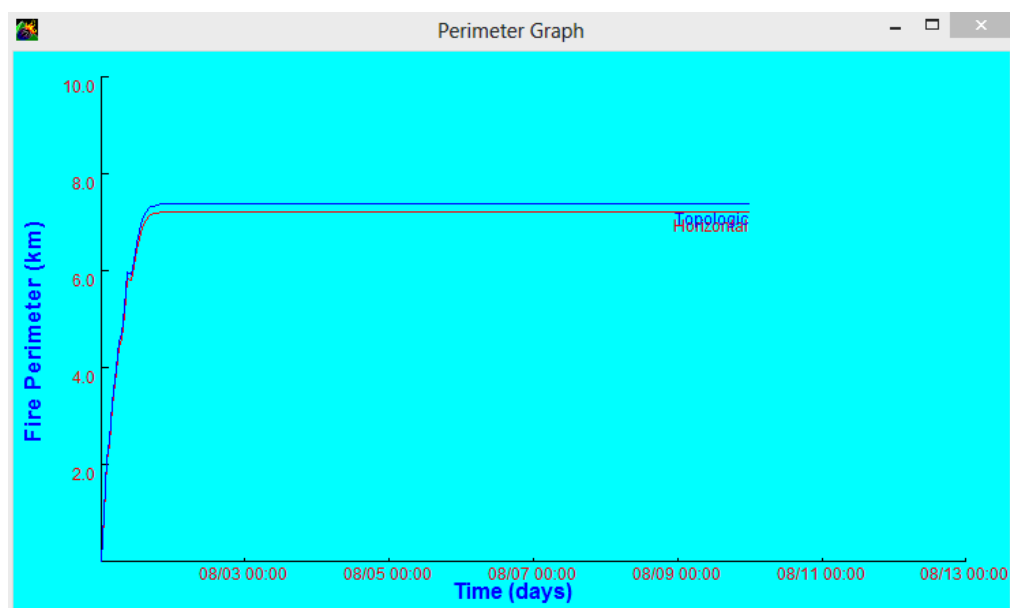




Gráfico 33 - Perímetro ardido 2004



Os gráficos 32 e 33 representam a área ardida e o perímetro do fogo para a ocupação e uso do solo para o ano de 2004. Verifica-se que o fogo fica circunscrito à área ardida durante o primeiro dia da ocorrência do incêndio florestal.

No entanto, é importante salvaguardar que a simulação reflete as estradas e as linhas de água como barreiras à propagação do fogo sem considerar alguns aspetos que podem alterar as condições de propagação, nomeadamente as condições de vento que podem facilitar a ocorrência de fogos secundários e assim dificultar a sua extinção tornando-se num incêndio de maiores dimensões.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os incêndios florestais constituem um problema do passado, do presente e do futuro. Do passado pelo facto de existir um histórico que retrata grandes perdas de área florestal consumida pelo fogo e que devem servir de base de estudo, para prevenção de fogos com as mesmas características, bem como de uma reorganização do espaço florestal. Do presente, porque apesar do investimento, cada vez maior, em meios de prevenção e de combate e de serem objeto específico de estudos e de criação de leis e linhas de ação legislativas continuam a existir. E do futuro porque deve existir na atualidade a definição de estratégias e medidas adequadas em termos de gestão florestal, capazes de evitar a sua ocorrência ou minimizar, de forma acentuada, os efeitos decorrentes de um fogo a nível futuro.

Neste sentido, é relevante uma abordagem à temática dos incêndios florestais conhecendo as condições de ocorrência, definindo de forma pertinente as circunstâncias em que assume a condição de risco, perigo ou crise, e de que forma uma gestão florestal adequada com recurso a sistemas de modelação pode impedir a frequência de ocorrência de incêndios florestais bem como da quantidade de área ardida. Tendo em linha de conta estas orientações salvaguarda-se o contributo para uma gestão ambiental adequada, considerando aspetos de ordenamento do território e contribuindo também para o desenvolvimento sustentável do território.

A problemática dos incêndios florestais é, muitas vezes, encarada como um incidente do momento, por vezes, resultado de negligência humana, outras vezes, provocado pelo próprio homem. No entanto, constituem um dos mais graves problemas ambientais que podem ser controlados pelo homem de forma preventiva. Se forem adotadas medidas estratégicas que protejam os espaços florestais e se houver uma gestão florestal eficaz podem ser evitados ou os seus efeitos podem ser minimizados.

Atualmente os espaços florestais existentes que não estão sob o domínio de entidades que tem fins lucrativos tornam-se espaços florestais degradados. Por vezes resultado de incêndios florestais anteriores, outras vezes, assumem tipologias de vegetação desajustadas às características autóctones tornando-se pragas vegetativas que destroem as condições dos habitats naturais que antes existiam. Por sua vez, os espaços florestais que se encontram sob

o domínio de gestão com fins lucrativos protegem as suas áreas, realizam limpezas de forma sistemática, adequam o tipo de vegetação aos espaços de exploração e implementam planos de vigilância adequados à prevenção dos fogos.

Desta forma, o reconhecimento, pela sociedade, dos espaços florestais como potencial económico pode ser uma oportunidade económica e uma forma de melhorar a gestão florestal conseguindo concertar linhas de ação entre entidades gestoras do território e proprietários com a finalidade comum de melhorar a gestão do espaço florestal e principalmente evitar a ocorrência de incêndios florestais.

A realização de simulações do comportamento do fogo com recurso a softwares específicos que descrevem, segundo determinados modelos dinâmicos, o comportamento do fogo torna-se um instrumento necessário ao nível do planeamento florestal. O Farsite4 tem sido um dos softwares mais utilizados para a realização de estudos sobre o comportamento do fogo nas florestas mediterrânicas. Trata-se de um software de fácil utilização que integra informação espacial e permite criar de forma dinâmica e múltipla diferentes condições de ocorrência de um fogo. Tem a vantagem de permitir realizar estudos sobre incêndios que já ocorreram ou que não existiram, bem como de gerar diferentes condições meteorológicas ou elementos humanos na paisagem (estradas, barreiras...) que criem novas condições de forma a definir as melhores estratégias de combate se eventualmente um incêndio deflagrar em determinado local. A sua implementação poderá vir a atingir os eixos estratégicos descritos a nível nacional no PNDFCI, de redução da incidência de incêndios; melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios; recuperação e reabilitação dos ecossistemas e das comunidades e adaptação de uma estrutura orgânica funcional e eficaz. Pode constituir o suporte de uma sustentada política de Defesa da Floresta Contra Incêndios, operacionalizando os meios de combate, integrando medidas de sensibilização, diagnóstico, prevenção, vigilância e combate.

No entanto, como qualquer modelo tem vantagens e desvantagens. Assim, a aplicação do modelo Farsite4 desenvolveu perceções sobre o comportamento do fogo mas que poderão apresentar algumas lacunas, que deverão prender-se com incorreções nos inputs. A qualidade e quantidade dos dados de entrada ainda está longe de ser a desejável, particularmente no que respeita aos dados meteorológicos e cartografia de modelos de combustível, uma vez que para a zona Norte ainda não existem modelos de combustível e para reportar estes dados

ao modelo usaram-se modelos de outras áreas regionais ou de referência. Os procedimentos relacionados com a caracterização de combustíveis são por norma dependentes de levantamentos de campo que se revestem de três inconvenientes: o seu custo financeiro, o dispêndio de tempo e a dificuldade de atualização. Têm sido apontadas várias metodologias para a construção de modelos de combustível, pelo que em alternativa aos levantamentos de campo, podemos ter metodologias baseadas em dados da deteção remota, ou por modelação biofísica.

No contexto das simulações realizadas considerou-se a Bacia Hidrográfica do Rio Estorãos. Foram criadas as condições adequadas de topografia, meteorologia e de modelos de combustível diferenciados para a área referida em ambiente de software de informação geográfica, mas que permitissem também a realização de simulações no modelo de crescimento e propagação do fogo dinâmico considerando cenários também diferentes. Dos quatro cenários realizados e analisados, constatou-se que efetivamente o tipo de ocupação e uso do solo tem influência na quantidade de área ardida, na forma de propagação e crescimento do fogo bem como na quantidade de energia libertada, velocidade de consumo e dimensão do fogo. Verificou-se também que em cenários livres sem qualquer tipo de elementos do território (estradas, linhas de água), considerando um período de 10 dias praticamente toda a área ardida previsível é consumida num período máximo de sete dias. Um outro aspeto também a salientar relaciona-se com o tipo de combustível, tendo-se verificado que em áreas agrícolas não há condições de início de um incêndio florestal e quando exposta a um incêndio florestal tende a ficar circunscrito ou avançar para outras áreas. A criação de elementos impeditivos quer sejam naturais do território ou desenvolvidos à posterior podem constituir um entrave à propagação e crescimento do fogo e diminuir consideravelmente a quantidade de área ardida. Demonstrou-se que as estradas e as linhas de água constituem elementos do território que podem limitar a propagação de um fogo. Também a criação de um aceiro ou uma barreira com dimensões adequadas à frente do fogo pode constituir um elemento mitigador do fogo. Contudo, há que salvaguardar que as dimensões de um incêndio florestal na realidade são muito mais complexas que as simulações. Numa situação de contexto real em que há um incêndio em zona de floresta fortemente influenciado por determinados ventos a probabilidade de expansão de incêndio acresce pela potencial existência de fogos secundários que poderão desenvolver-se, não havendo estradas que possam impedir a passagem do fogo. É também relevante salientar que o consumo de área ardida depende do modelo de combustível em que existe o ponto de

ignição tendo-se verificado que a probabilidade de se desenvolverem grandes incêndios é maior em zonas de matos (ocupação arbustiva e herbácea) associadas a florestas de eucaliptos ou pinheiro bravo. As florestas de eucalipto que se tem vindo a desenvolver principalmente a partir da década de 70 constituem, por vezes, fator limitativo à propagação do fogo pois inserem-se em planos de gestão de florestas havendo limpezas de matos sistemáticas que impedem a propagação e o crescimento do fogo.

Esta abordagem permitiu explorar as potencialidades de simuladores de incêndios florestais que operam em conjunto com ambiente SIG como ferramentas de apoio à decisão na prevenção estrutural de incêndios, tendo como referência a ocupação do solo. Neste sentido, a metodologia utilizada apesar de permitir retirar conclusões válidas sobre a probabilidade de ocorrência de um incêndio florestal nas condições definidas fica aquém das expectativas e potencialidades que o próprio modelo de crescimento do fogo permite. Um dos aspetos a considerar relaciona-se com os tipos de modelo de combustível que como já foi referido não representa a realidade concreta da área de estudo, pois foram utilizados modelos de classificação ajustados a outras áreas. Outro aspeto relaciona-se com a sequência temporal representada. Neste caso optou-se por não considerar a ocupação e uso do solo em termos temporais, pois as lacunas ao nível da representação ocupacional seriam evidentes (exemplo ausência da representação das lagoas em duas das cartas de ocupação). A informação sobre meteorologia também fica aquém da realidade, pelo facto de não existirem estações meteorológicas suficientes na área de estudo. Assim há a necessidade extrapolar alguns dados climáticos para obter valores para inserir nos ficheiros de clima e vento. Acresce a necessidade de validação de todo o modelo. Foram criadas condições de potenciais cenários que evidenciam determinadas conclusões. Contudo, estas só poderiam efetivamente ser consideradas válidas se já tivesse ocorrido um incêndio com as mesmas características e se verificasse determinadas ações de combate mais eficazes ou se eventualmente num futuro próximo ocorrer um incêndio e as medidas propostas surtam os efeitos pretendidos de limitação de crescimento do fogo.

Um dos aspetos mais relevantes da realização das simulações prende-se com a possibilidade de identificação e algumas medidas estratégicas de ação de combate ou de intervenção preventiva nos espaços florestais.

Neste sentido, considera-se que a nível futuro deve desenvolver-se um plano de defesa contra incêndios florestais na bacia do Rio Estorãos. Este deve contemplar alguns aspetos relevantes quanto à prevenção dos incêndios florestais:

- Desenvolvimento de estudos e aplicações que simulem o comportamento do fogo em áreas mais fragmentadas (à escala da freguesia);
- Formação sobre simuladores do comportamento do fogo a técnicos de combate;
- Realização de uma carta de ocupação e uso do solo atualizada;
- Definição de modelos de combustível adequados às características da vegetação da área de estudo;
- Criação de faixas de gestão de combustível (espaços entre as manchas florestais que poderão ajudar no combate ou limitar a passagem do fogo; ou faixas de vegetação que revela capacidade de resistência ao fogo);
- Definição de locais estratégicos para a gestão de combustíveis e de implantação da rede viária;
- Criação de postos de vigia mais eficazes;
- Sensibilização da comunidade local para o desenvolvimento de práticas de silvopastorícia sustentada;
- Incentivar a comunidade local a proteger a floresta tornando-a uma oportunidade económica (demonstrar potencialidades da florestas para além da produção florestal);

Para além destes, devem também desenvolver-se alguns meios de ação no combate às chamadas que possam ser mais eficazes e que contemplem o apoio prévio de simuladores do comportamento do fogo. O Farsite pode realizar simulações em contexto real. Neste sentido, após o alerta se forem realizadas as simulações adequadas considerando as condições ambientais presentes pode ajudar na definição dos meios de combate mais adequados (aéreos, terrestres e dentro destes qual o mais eficaz) evitando-se grandes dimensões de incêndios florestais e perdas tão elevadas. Além destas há a vertente ambiental que também é preservada (minimização dos gases para a atmosfera; menor perda de floresta sequestradora de carbono).

De um modo geral, os dados obtidos através da utilização de softwares de modelação e previsão do comportamento de um incêndio florestal permitem a criação de uma importante

fonte de informação técnica, quer para efeitos de estudo de possíveis situações futuras de incêndio florestal, quer para a constituição de um histórico de ocorrências verificadas. Esta abordagem permitiu explorar as potencialidades de simuladores de incêndios florestais que operam em conjunto com ambiente SIG como ferramentas de apoio à decisão na prevenção estrutural de incêndios, tendo como referência a ocupação do solo. Estas ferramentas de modelação permitem compreender a dinâmica de propagação de incêndios florestais, num determinado território e a sua consequente aplicação à gestão de espaços florestais e ordenamento do território contribuindo de forma fulcral para a gestão sustentada da floresta.

## 5. BIBLIOGRAFIA

Alexandrian, D., Esnault, F. e Calabri G. 1999. Forest fires in the Mediterranean area Unasylva 197: 35–41;

AFN – Autoridade Florestal Nacional (2008). Relatório de áreas ardidas e ocorrências em 2008. Defesa da Floresta. Lisboa;

AFN – Autoridade Florestal Nacional (2009). Relatório Provisório de Incêndios Florestais: Fases Alfa, Bravo, Charlie e Delta. Defesa da Floresta. Lisboa;

Anderson, H. (1982) – Aids to Determining fuel models for estimating fire behavior, United States - Department of Agriculture, Forest Service, April;

André, J.C.S e Viegas, D.X. [2001] - Modelos de Propagação de Fogos Florestais: Estado-da-Arte para Utilizadores. Parte I: Introdução e Modelos Locais. Silva Lusitana. Vol. 9 (2). pp. 237 – 265;

André, J.C.S e Viegas, D.X. [2002] - Modelos de Propagação de Fogos Florestais: Estado-da-Arte para Utilizadores. Parte II: Modelos Globais e Sistemas Informáticos. Silva Lusitana. Vol 10 (2);

Arca, B. Duce, P.; Pellizzaro, G.; Laconi, M.; Salis, M.; Spano, D. (2006). Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean shrubland in 5th International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, 27-30 November 2006. Viegas, D. (ed) ADAI, CEIF, Universidade;

Azevedo. J. <sup>L.2</sup>, Possacas. A. <sup>3</sup>, Fernandes.P. <sup>4,5</sup>, Dias. R. <sup>1,2</sup>. Saraiva.A. <sup>1</sup>, Loureiro.C. <sup>4</sup>, 2008. Como é que os bosques de azinheira sobrevivem em áreas de fogos Frequentes? Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real;

Bento-Gonçalves, A. (2006) – Geografia dos incêndios em espaços silvestres de montanha. O caso da serra da Cabreira. Universidade do Minho, Braga, 439 p;

Bento-Gonçalves, A.; Vieira, A.; Martins, C.; Leite, F; Costa, F. (2009) – “A criação de Garranos na serra da Cabreira (Vieira do Minho) e o uso do fogo”. GEO-Working Papers, nº. 2009/1, Guimarães, 96 p;

Beja, P.; Lourenço, S. Rosa, S. Reino, L.; Santana, J.; Simões, H.; Honrado, J.; Marques, J. (2008). Plano de Ordenamento e Gestão da Paisagem Protegida das Lagoas de Bertandos e São Pedro de Arcos;

Borges, J. G & Uva, J. S. 2006. A Prevenção e o Combate a Incêndios no Âmbito do Ordenamento e da Gestão Florestal. In Pereira, J. S.; Pereira, J. M. C.; Rego, F. C.; Silva, J. M. N & Silva, T. P. (Eds). Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e prevenção. ISAPress. Lisboa. Pp 385-407;

Botelho, H. et al (2008) - Guia de Campo para Fogo Controlado em Matos, UTAD, Vila Real;



Botelho, H.; Rego, F.C. varejão, E. & fernandes, P. Caracterização de combustíveis florestais: sua utilização na previsão do comportamento do fogo. Junta Nacional de Investigação Científica –JNICT, 11p, 1989;

Botelho, H. e Ventura, J. Modelos de comportamento do fogo. In: Rego, F.C. & Botelho, H. A técnica do fogo controlado. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, p. 49-55, 1990;

Bugalho, L.; Café, B.; Pessanha, L.; Sanches, J.; Sousa, A.; Tavares, R. (2006). Assessment of forest fire risk in Portugal combining meteorological and vegetation information. in 5<sup>th</sup> *International Conference on Forest Fire Research*, Figueira da Foz, 27-30 November 2006. Viegas, D. (ed) ADAI, CEIF, Universidade de Coimbra;

Castro, F. X., Tudela, A., Sebastià, M. T. 2003. Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain). *Agricultural and Forest Meteorology*;

Catry, F. X., Rego, F. C., Bação, F. L. & Moreira, F. 2009. Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal. *International Journal of Wildland Fire*;

Carvalho, A., Flannigan, M., Logan, K., Miranda, A., & Borrego, C. (2010). The impact of spatial resolution on area burned and fire occurrence projections in Portugal. *Climate Change* 98, pp.177-197;

Ceccato P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., Tarantola, S. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1 Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment* 82;

CELPA 2009. Boletim Estatístico 2008. Lisboa: CELPA – Associação da Indústria Papeleira;

Cisneros, J. (2000) – Defensa del Monte, modelos decombustibles en la Comarca del Bierzo, ETSIA Campus de Ponferrada;

Chuvieco, E., Congalton, R. G. 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of Environment* 29:147–159;

Chuvieco, E.; Salas, F. J. Carvacho, L. & Rodriguez-Silva, F. 1999. Integrated fire risk mapping. In Chuvieco, E., (Ed). *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*. Berlin, Springer-Verlag;

Chuvieco, E. Aguado, I. Yebra, M. Nieto, H. Salas, J. Martín, M. P., Vilar, L., Martínez, J. Martín, S., Ibarra, P., de la Riva, J., Baeza, J., Rodríguez, F., Molina, J. R., Herrera, M. A. & Zamora, R. 2010. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*;

Cortes, P., 2007. O Ordenamento da Carga Combustível – Apresentação. Jornadas de reflexão do PDM, Concelho de Pampilhosa da Serra;

Cruz, M.G. 2005. Guia fotográfico para identificação de combustíveis florestais – Região Centro de Portugal. Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais – ADAI, Coimbra. 38p;

Cruz, M. G. & Viegas, D. X. 1998. Fire behaviour in some common Central Portugal fuel complexes: Evaluations of fire behaviour models performance. In 3rd International Conference on Forest Fire Research, 14th Conference on Fire and Forest Meteorology 1: 859- 875;

Cumming S. G. 2001. Forest type and wildfire in the Alberta boreal mixedwood: What do fires burn?. Ecological Applications;

Deus.E., 2010. A implementação do conceito Zona de Intervenção Florestal em Portugal - o caso do concelho de Mação). Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra;

DGRF 2007a. Estratégia Nacional para as Florestas (1ª ed.). Imprensa Nacional – Casa da Moeda;

FAO, 2007. Fire Management-Global Assessment 2006. A Thematic Study Prepared in the Framework of the Global Forest Resources Assessment. FAO, Rome;

Faugères, L. (1990) – “La dimension des faits et la théorie du risque”. In Faugères, L. et al - Le risque et la crise, Foundation for International Studies, Malta, p. 31-60;

Fernandes, G. D. A., 2003. Simulação de Incêndio Florestal no Parque Estadual Serra do Rola-Moça, Minas Gerais, Utilizando o FARSITE. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais – Brasil;

Fernandes, J.P. et al (2006) – Análise comparativa das legendas disponíveis para a cartografia de ocupação do solo e da vegetação e adaptação da legenda Corine Land Cover Nível 5 – Escala 1:10000, AMDE e CEEM, Évora;

Fernandes, P. et al (2002) – Manual de Formação para a técnica do fogo controlado, UTAD, Vila Real;

Finney, M. A. 2005. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire, Forest Ecology and Management;

Finney, M. (1998). FARSITE: Fire Area Simulator - Model Development and Evaluation. Research Paper. RMRS- RP-4. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station;

Finney, M.A. Modeling the spread and behavior of prescribed natural fires. Proc. 12th Conf. Fire and Forest Meteorology, pp138-143. 1994;

Finney, M. A. e Andrews P. L. The FARSITE fire area simulator: Fire management applications and lessons of summer 1994. Paper presented at the Interior West Fire Council Meeting and Symposium, Coeur d'Alene. ID. November 1-2. 1994;

Freire, J. 2009. Modelação do Crescimento e da Produção de Pinha no Pinheiro Manso. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa;

Freiria.S., 2009. Expansão Urbana e Riscos Naturais - O caso de Coimbra. Dissertação de Mestrado em Dinâmicas Naturais e Riscos Naturais, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra;

Gabinete Técnico Florestal (2006). Plano Municipal da Defesa da Floresta Contra o Incêndio de Albergaria-a-Velha. Câmara Municipal de Albergaria-a-Velha;

Fernandes.G.(2003), Simulação de Incêndio Florestal NO PARQUE Estadual Serra do Rola-Moça, Minas Gerais, utilizando o Farsite™ Viçosa Minas Gerais – Brasil;

González, J. R., Palahi, M., Trasobares, A. and Pukkala, T. 2006. A fire probability model for forest stands in Catalonia (north-east Spain). *Annals of Forest Science* 63;

Grupe, M. A. Assessing the applicability of the Terrestrial Ecosystem Survey for Farsite. Master's Thesis, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, 95 pages, 1998;

Guiomar, N. et al, 2006. Aplicações Práticas de Cartografia de Modelos de Combustível Florestal no apoio ao Planeamento e Combate a Incêndios, Universidade de Évora, Évora;

J. Verde e J. L. Zêzere (2006) - Artigo VI – Avaliação da perigosidade de incêndio florestal;

Lopes, A.M.G. (2000) - FireStation user's manual. Universidade de Coimbra;

Lopes, A.M.G., Cruz, M.G. e Viegas, D.X. [2002] - FireStation – an integrated software system for the numerical simulation of fire spread on complex topography. *Environmental Modelling & Software*;

Lourenço, Luciano (1996) – “Risco de incêndio”. Atas do Encontro Pedagógico sobre Fogos Florestais, NICIF, Coimbra, p. 52-61;

Lourenço, Luciano (1998) – “Índice de risco histórico- geográfico de fogo florestal. Uma proposta para Portugal Continental”. Revista ENB. Revista Técnica e Formativa da Escola Nacional de Bombeiros, n.º 6, Sintra, p. 15-27;

Lourenço, L. (1988). Tipos de tempo correspondentes aos grandes incêndios florestais ocorridos em 1986 no Centro de Portugal. *Finisterra XXIII*, 46, pp. 251-270;

Macedo, F.W. e Sardinha A. S. (1993ª) – Fogos Florestais. 1º Volume. Publicações Ciência e Vida. Lisboa;

Macedo, F.W. e Sardinha A. S. (1993b) – Fogos Florestais. 2º Volume. Publicações Ciência e Vida. Lisboa;

Macedo, F.; Sardinha, A. (1993). Indexação do perigo de incêndio. In *Fogos Florestais*. Lisboa: Publicações Ciência e Vida, Lda.;

Miranda, A.I. (1998) - Efeito dos Incêndios Florestais na Qualidade do Ar. Tese de Doutoramento em Ciências Aplicadas ao Ambiente. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal;

Miranda, A., Borrego, C., Sousa, M., Valente, J., Barbosa, P., & Carvalho, A. (2005). *SPREAD, Forest Fire Prevention and Mitigation*;

Miranda, A.I., Coutinho, M. E Borrego C. (1994) - Forest fire emissions in Portugal: A contribution to global warming?. *Environmental Pollution* 83: pp. 121-123;

Miranda, A.I.; Borrego, C.; Sousa, M., Valente, J., Barbosa, P. & Carvalho, A. (2005) – Model of Forest Fire Emissions to the Atmosphere. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. AMB-QA-07/2005. Deliverable D252 of Spread Project (EVG1-CT-2001-00043);

Miranda, A.I.; Borrego, C.; Amorim, J.H.; Martins, V.; Martins, H.; Carvalho, A.; Silva, J.V.; Cascao, P.; Costa, A.M.; Monteiro, A.; Valente, J. & Santos, P. (2008) – Impacto dos Incêndios Florestais na Qualidade do Ar em Áreas Urbanas. Universidade de Aveiro;

Martins, J. F., 2010. Análise e Caracterização de Incêndios Florestais no Concelho de Albergaria-a-Velha. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro - Departamento de Ambiente e Ordenamento, Aveiro;

Monteiro, J., 1998. Aplicação de um Sistema de Informação Geográfica de Coordenação de Meios Aéreos envolvidos no Combate a Incêndios Florestais. Seminário – Sistemas Informáticos no Ordenamento do Território e dos Recursos Naturais, Escola Superior Agrária de Castelo Branco;

Nunes, M. C. S., Vasconcelos, M. J., Pereira, J. M. C., Dasgupta, N., Alldredge, R.J., Rego, F. C. 2005. Land cover type and fire in Portugal: Do fires burn land cover selectively? *Landscape Ecology* 20: 661–673;

Keane, R. E.; Mincemoyer, S. A.; Schmidt, K. M.; Long, D. G. & Garner, J. L. Mapping vegetation and fuels for fire management on the Gila National Forest Complex, New Mexico, [CD-ROM]. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-46-CD. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 126 p. 2000;

Oliveira, M. G. A., 2005. Propagação do Fogo e Dinâmicas Florestais. Dissertação de Mestrado em Estatística Aplicada e Modelação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto;

Oliveira, R., 2010. Um Estudo sobre os Incêndios Florestais Ocorridos no Estado de Vitória (Austrália). Dissertação de Mestrado em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos, Faculdades de Letras, Ciências e Tecnologia e de Economia da Universidade de Coimbra;

Pastor, E.; Zárate, L.; Planas, E. & Arnaldos, J. (2003) – Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behaviour. *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol 29. pp. 139 – 153;

Paredes, C. et al, 2009. Desenvolvimento de um Modelo Estrutural e Dinâmico para a Cartografia de Risco de Incêndio Florestal. Instituto Politécnico de Viana do Castelo – Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Ponte de Lima;

Pereira, J., Carreiras, J., Silva, J., & Vasconcelos, M. (2006). Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal. In J. Pereira, J. Pereira, F. Rego, J. Silva, & T. (. Silva, *Incêndios Florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção*. (pp. 134-161). Lisboa: ISA Press;

Pereira, J. S., Correia, A., Correia, A. & Borges, J. G. 2010. Floresta. In Pereira, H. M., Domingos, T. & Vicente, L. (Eds). *Ecossistemas e Bem-Estar Humano – Avaliação para Portugal do Millenium Ecosystem Assessment*. Escolar Editora, Lisboa;

Plano Municipal de Emergência do Concelho de Albergaria-a-Velha. (versão não aprovada para alteração do P.M.E em vigor). Câmara Municipal de Albergaria-a-Velha;

Pyne, S. J. 1995. *World fire*. In *The Culture of Fire on Earth*. University of Washington Press, Seattle and London;

Ramos, C.; Ventura, J. (1992). Um índice climático de perigo de incêndio aplicado aos fogos florestais em Portugal. *Finisterra* , 27, pp. 79-83;

Rebelo, Fernando (2001) – Riscos naturais e ação antrópica. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra, 274 p;

Ricardo.A., 2010. Modelação da Probabilidade de Ocorrência de Incêndio em Povoamentos Florestais de Portugal Continental. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais, Instituto Superior de Agronomia Universidade Técnica de Lisboa;

Richards, G. (1990). *An elliptical growth model of forest fires fronts and its numerical solution*. *International Journal of Numerical Methods for Engineering*, 30, pp 1163-1179;

Ribeiro, J. 2008. A deteção remota no inventário florestal – Análise das potencialidades da utilização das imagens de satélite. Tese de Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 138;

Saturnino, H. et al, 2009. Os Sistemas de Informação Geográfica no Planeamento Estratégico de Infraestruturas de Prevenção e Supressão de Incêndios Florestais, Caso de Estudo: Concelho da Sertã. Autoridade Florestal Nacional e Instituto Politécnico de Castelo Branco – Escola Superior Agrária, Sertã;

Silva.C., 2010. Contributo para Planeamento do Uso do Fogo Controlado na Gestão de Combustíveis à Escala da Paisagem. Dissertação para obtenção do grau de Mestre no âmbito

do Curso de Mestrado em Instrumentos e Técnicas de Apoio ao Desenvolvimento Rural, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro;

Silva.A., 2009. Modelação do Dano Causado pelos Incêndios Florestais em Portugal. Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais, Instituto Superior de Agronomia Universidade Técnica de Lisboa;

Silva, M. C. P. F., 2008. Caracterização dos Combustíveis Florestais em Sobreirais de Trás-os-Montes e Alto Douro. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Ecossistemas, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real;

Stratton, R.D. (2004) – Assessing the Effectiveness of Landscape Fuel Treatments on Fire Growth and Behavior. *Journal of Forestry*, pp. 32 – 40;

Teles.V., 2010. A (In) Consciência dos Riscos Naturais em meio Urbano. Estudo de caso: o Risco de Inundação no Concelho de Braga. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física e Estudos Ambientais, Instituto de Ciências Sociais Universidade do Minho;

Van Wagner (1987). *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry Technical Report 35*. Ottawa: Canadian Forestry Service;

Vasconcelos, M. J. P., Silva, S., Tomé, M., Alvim, M., Pereira, J. M. C. 2001. Spatial prediction of fire ignition probabilities: comparing logistic regression and neural networks. *Photogrametric Engineering & Remote Sensing*;

Ventura, J.; Vasconcelos, J. (2006). O fogo como processo físico-químico e ecológico.. In J. Pereira, J. Pereira, F. Rego, J. Silva, & T. Silva, *Incêndios Florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção*. (pp. 93-113). Lisboa: ISA Press;

Viegas, D. (2006). Modelação do Comportamento do Fogo. In J. e. Pereira, *Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactes e Prevenção* (pp. 288-325). Lisboa: ISAPress;

Viegas, D.; Reis, R.; Cruz, M. & Viegas, M. (2004). Calibração do Sistema Canadiano de Perigo de Incêndio para aplicação em Portugal. *Silva Lusitana* , 12 (1), pp. 77-93;

Viegas, D.; Bovio, G.; Ferreira, A.; Nsenzo, A. & Sol.B. (1999). Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe. *International Journal of Wildland Fire* , 9 (4), pp. 235-246;

Viegas, D. (1989). Manual sobre Incêndios Florestais. Lisboa: Secretaria-Geral do Ministério do Planeamento e da Administração do Território;

Vélez, R. (2006) A defesa da floresta contra incêndios florestais: estratégias, recursos, organização. In Pereira, J. S., Pereira, J. M. C., Rego, F. C., Silva, J. M. N., Silva, T. P. (Eds.). *Incêndios Florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção*, ISAPress, Lisboa;

Zedler, P.; Rego, F. (2006). Regimes de Fogo e Biodiversidade: Respostas dos Ecossistemas e Alternativas de Gestão. In J. Pereira, J. Pereira, F. Rego, J. Silva, & T. Silva, Incêndios Florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção.

FONTES:

<http://fire.org/index.php?option=content&task=category&sectionid=2&id=8&Itemid=27>

<http://www.firemodels.org/index.php/national-systems/farsite>

<http://www.fs.fed.us/fire/planning/nist/farsite.htm>

<http://www.firelab.org/science-applications/science-synthesis/72-farsite>